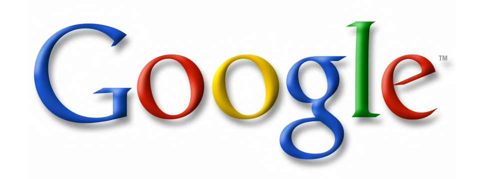



NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06274459 8




Annales

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

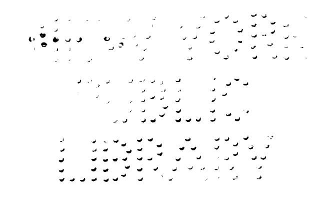
PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME XI

Année 1884



PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1884

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1884 **Janvier-Février**

RELEVÉ

DES

COUPS DE FOUDRE OBSERVÉS EN FRANCE

PENDANT LE PREMIER SEMESTRE DE 1883.

Communiqué à l'Académie des Sciences

PAR M. LE MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.

La Conférence internationale des unités électriques, réunie à Paris en octobre 1882, a exprimé le vœu qu'un système d'observation des effets produits par la foudre fût organisé dans les divers pays, et que l'on précisât la nature des éléments qui devraient être pris en considération dans l'étude des cas signalés. Suivant ces indications, il a été établi, par les soins des membres français de la Conférence, un modèle de questionnaire

qui a été distribué, sur tous les points du territoire français, aux agents du ministère des Postes et des Télégraphes, ainsi qu'à ceux des autres départements ministériels et des Compagnies de chemins de fer qui ont bien voulu donner leur concours.

L'enquête, ouverte en janvier 1883, a porté jusqu'à ce jour sur plusieurs centaines de coups de foudre, sans parler des décharges observées sur les lignes télégraphiques qui ont été l'objet d'une étude distincte.

Conformément à un désir exprimé par M. Hervé Mangon, j'ai fait établir pour l'année 1883 un relevé, par ordre chronologique, des coups observés en dehors des lignes télégraphiques, avec la statistique des personnes ou des animaux tués ou atteints, et l'indication sommaire des objets frappés et de la nature des dégâts produits. J'ai l'honneur de communiquer à l'Académie la première partie de ce travail, embrassant la période du 1er janvier au 30 juin.

Des instructions sont données pour que les questionnaires eux-mêmes soient communiqués aux membres de l'Académie qui désireraient connaître d'une manière plus circonstanciée, les détails des phénomènes signalés.

COUPS DE FOUDRE OBSERVÉS EN FRANCE

PENDANT LE PREMIER SEMESTRE DE L'ANNÉE 1883.

DATES.	HEURES.	LOCALITÉS.	DÉPARTEMENTS.	PERSONNES tuées.	PERSONNES atteintes.	ANIMAUX tués.	ANIMAUX atteints.
						MOIS	DE
9	h. m. 5,45 s.	Dienné.	Vienne.	»	1 homme.	»	»
						MOIS	DE
							Néant.
						MOIS	DE
9	9,30 m.	Hyères.	Var.	»	»	»	»
9	2 m.	Tourrettes.	Var.	»	»	»	»
22	11,50 m.	Mollèges.	Bouch.-du-Rhône.	»	»	»	»
27	1,55 s.	Sermentot.	Calvados.	»	»	»	»
							MOIS
13	4 s.	Orthez.	Basses-Pyrénées.	»	Plus. pers.	»	«
13	1 m.	Aignan.	Gers.	»	»	»	»
19	2 s.	Le Perthus.	Pyrénées-Orient.	«	3 soldats.	»	»
23	4 s.	Lalande de Cubzac.	Gironde.	»	»	»	»
						MOIS	DE
1	6 s.	Solesmes.	Sarthe.	»	»	»	»
3	9,40 s.	Mirambeau.	Charente-Infér.	»	»	»	»
4	3 s.	Amiens.	Somme.	»	»	»	»
4	5 s.	Moutier-Roseille.	Creuse.	»	»	»	»
5	2 s.	Tulle.	Corrèze.	»	»	»	»
7	9 s.	Saint-Maurice.	Creuse.	»	»	6 bêtes à cornes.	»
8	8,15 m.	Villers-Bretonneux.	Somme.	»	»	»	»
8	1 s.	Lachaux.	Puy-de-Dôme.	»	»	2 chevaux.	1 cheval.

DATES.	OBJETS FRAPPÉS. DESCRIPTION DES LIEUX. DÉGATS PRODUITS. OBSERVATIONS.
JANVIER 1883.	
9	Fond dénudé d'arbres. La personne atteinte portait un parapluie ouvert dont les baleines métalliques ont divisé la décharge. Plusieurs coups successifs. Pluie.
FÉVRIER.	
Néant.	
MARS.	
9	Phare de l'îlot du Grand Ribaut, terminé par une coupole en cuivre sans paratonnerre. Dégâts divers. 2 coups successifs. Grêle. Coup de foudre le même jour à 6 heures soir sur l'autre point culminant de l'île.
9	Une minoterie élevée de 6 mètres, située près d'une autre la dominant de 10 mètres, a été complètement brûlée. Pluie abondante.
22	La maison la plus élevée du village, entourée d'un platane et d'autres maisons, a été frappée. Vitres brisées, pierres déplacées. Pluie et grêle.
27	Un chêne très élevé, situé près d'une habitation, à 7 kilomètres de Villers-Bocage, a été dépouillé de ses branches. La tige a été en partie morcelée. Grêle.
D'AVRIL.	
13	Peupliers de 4 à 7 mètres dans un terrain de culture. Plusieurs personnes ont reçu des commotions. Coups répétés. Ni pluie, ni vent.
13	Girouette à l'angle sud d'un château sur un mamelon sans arbres. Mur percé. Six chambres parcourues. Commencement d'incendie. Légère pluie.
19	Cloche sur le toit du fort de Bellegarde. 3 soldats renversés, dont l'un tenait le fil métallique de la cloche. Pluie.
23	Maison isolée en pays plat et sablonneux, hauteur 5 mètres. La foudre entrée par la cheminée serait sortie par la porte sans dégâts.
MAI.	
1	Maison de garde-barrière isolée (chemin de fer de la Flèche à Sablé), sur le haut d'une colline, frappée en deux points. Forte pluie avec grêle.
3	Girouette d'un moulin à vent de 12 mètres isolé. Murs lézardés; mécanismes en bois bouleversés. Pluie abondante.
4	Peuplier d'Italie de 15 à 18 mètres faisant partie de la plantation qui borde chaque rive du canal. Pluie forte.
4	Bâtiment en bois, couvert en paille, contenant des fourrages, incendié. Pluie et grêle. (Domaine de Malèche)
5	Flèche du clocher de la cathédrale de Tulle (35 mètres) muni d'un paratonnerre. Terrain granitique. Orage du sud-ouest vers nord-est. Pluie très forte.
7	Le faîtage, élevé de 9 mètres, d'un bâtiment a été frappé, et la construction incendiée; six bêtes à cornes foudroyées ou brûlées. Pluie.
8	Maison de 5 mètres entourée de maisons pareilles. Toiture enlevée, tuyaux de gaz percés, gaz enflammé. Ni pluie, ni grêle.
8	Chariot attelé de quatre chevaux arrêté près d'une grange et de grands arbres. Altitude: 658 mètres; terrain granitique et siliceux. Orage du sud-ouest vers nord-est. Pluie et grêle.

DATES.	HEURES.	LOCALITÉS.	DÉPARTEMENTS.	PERSONNES tuées.	PERSONNES atteintes.	ANIMAUX tués.	ANIMAUX atteints.
						MOIS DE	
8	1,50 s.	Châteauroux.	Indre.	»	»	»	»
8	2 s.	Tulle.	Corrèze.	1 homme.	»	»	»
10	3 s.	Vermandovillers.	Somme.	1 homme.	»	1 cheval	1 cheval.
10	4,30 s.	Templeux-la-Fosse.	Somme.	»	3 personnes	»	»
20	5 s.	Sainte-Fortunade.	Corrèze.	»	»	»	»
21	3 s.	Limoges.	Haute-Vienne.	»	»	»	»
25	2 s.	Blosseville-Bonsecours.	Seine-Inférieure.	»	»	»	»
25	?	Putanges.	Orne.	»	1 homme.	1 vache.	»
25	3 s.	Lancuville-les-Bray.	Somme.	»	»	»	»
25	8,30 s.	Quiers.	Loiret.	»	»	»	»
25	8,45 s	Bleigny-le-Carreau.	Yonne.	»	»	»	»
25	8,50 s.	Dannemoine.	Yonne.	»	»	»	»
25	9,25 s.	Saint-Florentin.	Yonne.	»	»	»	»
25	9,35 s.	Montigny-la-Resle.	Yonne.	»	»	»	»
25	9,50 s.	Serbonnes.	Yonne.	»	»	»	»
26	2 m.	Jard.	Vendée.	»	»	»	»
26	3 m.	Montceaux-les-Provins.	Seine-et-Marne.	»	»	»	»
26	3,30 m.	Montceaux-les-Provins.	Seine-et-Marne.	»	»	»	»
29	6 s.	Charost.	Cher.	»	Plus. ouvr.	»	»
31	2 s.	Draguignan.	Var.	»	»	»	»
						MOIS DE	
1	3 s.	Humbécourt.	Haute-Marne.	»	»	»	»
1	4,50 s.	Nully.	Haute-Marne.	»	»	»	»
1	6 s.	Poissons.	Haute-Marne.	»	»	»	»
1	6,20 s.	Aulnois-en-Perthois.	Meuse.	1 homme.	3 hommes.	1 cheval	»
1	8,45 s.	Vitry-en-Perthois.	Marne.	»	»	»	»

DATES.	OBJETS FRAPPÉS. DESCRIPTION DES LIEUX. DÉGATS PRODUITS. OBSERVATIONS.
MAI (SUITE).	
8	Maison de 3 mètres, couverte en tuiles avec bordure en zinc, dans le haut de la ville, entourée de maisons semblables. La foudre a suivi la bordure métallique. Trombe et pluie.
8	La foudre a labouré un châtaignier de 5 mètres planté en sol sablonneux et tué un homme abrité dessous. Pluie.
10	Plaine légèrement en pente à 200 mètres d'un taillis sous grands arbres. Un homme et un cheval tués; un cheval renversé. Plusieurs coups précédés de pluie et grêle.
10	Trois personnes travaillant en plaine ont été frappées simultanément et ont éprouvé des effets physiologiques très violents. Forte pluie avec petits grêlons.
20	La foudre a frappé un chêne de 15 mètres en terrain plat et marécageux à 50 mètres des maisons et 20 mètres d'un réservoir. Pluie avant et après le coup.
21	Toiture et muraille d'un bâtiment-caserne très élevé au-dessus des terrains avoisinants. Pluie abondante.
25	Christ en chêne doré à 200 mètres en avant de l'église de Bonsecours, dominant à pic la vallée de la Seine. Paratonnerre sur l'église. Orage du sud-ouest vers nord-est. Pluie forte.
25	Une vache tenue à la longe à Pontécrépin, sur le coteau qui domine l'Orne, a été tuée. Le gardien a reçu une violente commotion et n'a pu revenir seul chez lui.
25	La foudre a frappé une cheminée de sucrerie de 33 mètres, et est descendue en se fractionnant en trois décharges qui ont donné lieu à des effets mécaniques puissants. Forte pluie préalable.
25	La foudre a parcouru la cuisine d'une maison, puis une pièce contiguë, et est sortie par la cheminée en la détériorant. Coup simple précédé de pluie légère.
25	La foudre a brisé la cime d'un peuplier de 6 mètres faisant partie de la bordure d'une mare au pied d'un tertre boisé. Pluie et grêle.
25	Dégâts divers dans une maison dont les habitants ont éprouvé une vive commotion. Un autre coup a brisé à 2 kilomètres de là un peuplier de 20 mètres. Pluie abondante.
25	Dégâts divers à la cheminée d'une maison de 10 mètres entourée de maisons d'égale hauteur. Pluie forte pendant dix minutes. Orage du sud-ouest vers le nord-est.
25	La foudre a éraflé en deux points le pignon nord-est d'une écurie de $8^{m},50$ de hauteur, située près de maisons aussi hautes et bordant une ruelle. Pluie.
25	Détériorations sur un groupe de quatre cheminées terminé par un tuyau en tôle sur une maison isolée, au milieu d'un jardin. Petites ondées.
26	La foudre a fendu la cheminée d'une maison de 4 mètres près d'autres maisons et d'arbres plus élevés. Elle est tombée en même temps, à 700 mètres de là, à l'Isle-Bernan. Pluie.
26	Un peuplier de 30 mètres, au pied duquel est un grillage en fer galvanisé bordant un parc, a été frappé à 5 mètres du sol. Pluie.
26	La foudre a frappé l'angle nord-ouest du toit du clocher et pénétré dans l'église. Pierres arrachées, crépis enlevés. Pas de paratonnerre. Pluie violente.
29	Halle aux marchandises de la station. La foudre a suivi les tuyaux de descente et atteint les hommes à l'abri sous l'auvent les plus voisins du rail. Mine de fer dans le voisinage.
31	L'escalier extérieur d'une maison, située près de rochers escarpés, a été frappé. Trou de $0^{m},25$ de diamètre dans le mur. Pluie et grêle.
JUIN.	
1	Quatre peupliers de 20 mètres à 25 mètres, entourés d'arbres aussi hauts, ont été brisés à des hauteurs différentes et fendus jusqu'au bas. Pluie préalable pendant dix minutes.
1	Un chêne de 10 mètres, à 50 mètres d'un chêne de 12 mètres, a été dépouillé de ses branches, fendu suivant une rainure sinueuse profonde de $0^{m},08$ à $0^{m}10$ et déraciné du même côté. Pluie.
1	La foudre a frappé un peuplier de 10 mètres faisant partie d'une rangée bordant une prairie. Pluie.
1	Un homme et un cheval attelé à une charrue, qu'il tenait par la bride, ont été tués. Un homme placé derrière la charrue et deux travailleurs voisins ont été renversés.
1	Un peuplier du Canada, de 25 mètres, faisant partie de la bordure du canal, et dont un voisin était cassé à 12 mètres, a été frappé à 5 mètres du sommet. Pluie et grêle.

MOIS DE

DATES.	HEURES.	LOCALITÉS.	DÉPARTEMENTS	PERSONNES		ANIMAUX	
				tuées.	atteintes.	tués.	atteints.
1	11 s.	Chaource	Aube.	»	»	»	»
2	6 m.	Vigneulles.	Meuse.	»	»	»	»
2	8 m.	Semilly.	Haute-Marne.	»	»	»	»
2	3,25 s.	Saint-Privé.	Yonne.	»	»	»	»
2	5 s.	Civry-les-Mareilles.	Haute-Marne.	»	1 homme.	»	2 chevaux.
2	6,45 s.	Chassières.	Ardèche.	»	3 enfants.	»	»
3	2 s.	Tarzy-Soquettes.	Ardennes.	»	»	»	»
3	2 s.	Brunehamel.	Aisne.	»	»	2 vaches.	»
3	2 s.	Brunehamel.	Aisne.	»	»	»	»
3	2,30 s.	Dinozé.	Vosges.	»	»	»	»
3	3,15 s.	La Roche.	Ardennes.	»	»	»	»
3	4,20 s.	Rumigny.	Ardennes.	»	»	»	»
3	5 s.	Beaulieu.	Ardennes.	»	»	»	»
3	5 s.	Villamblard.	Dordogne.	1 homme,	Plus. pers.	»	»
3	7 s.	Saint-Jacques.	Calvados.	»	»	»	»
3	7 s.	Lisieux.	Calvados.	»	»	»	»
3	7,15 s.	Épaignes.	Eure.	»	3 personnes	»	»
3	7,40 s.	Launois.	Ardennes.	»	»	»	»
3	8 s.	Villamblard.	Dordogne.	»	1 homme.	»	»
3	8 s.	Albry-sur-Chéran.	Haute-Savoie.	»	»	»	»
3	10 s.	Charron.	Charente-Infér.	»	»	»	»
3	11 s.	Champagnac.	Haute-Vienne.	»	»	»	»
4	5 à 6 s.	Donville.	Manche.	1 homme.	1 femme.	»	»
4	7,30 s.	Ewaires.	Nord.	»	»	»	»
4	11 s.	La Flèche.	Sarthe.	»	»	»	»
4	12,3a s.	Corcelles-les-Monts.	Côte-d'Or.	»	1 berger	10 moutons	1 chien.
5	1 m.	Rennes.	Ille-et-Vilaine.	»	»	»	»
5	3,30 s.	Pont-l'Évêque.	Oise.	»	»	»	»

DATES.	OBJETS FRAPPÉS. DESCRIPTION DES LIEUX. DÉGATS PRODUITS. OBSERVATIONS.
JUIN (SUITE).	
1	Un sapin de 14 mètres, entouré d'arbustes, a été atteint à 5 mètres du sol, pluie.
2	Clocher de l'église.
2	Deux cheminées de 20 mètres de hauteur au-dessus du sol, sur une maison dominant les constructions voisines, ont été détruites. Pluie.
2	La foudre a frappé et suivi normalement le paratonnerre, élevé de 70 mètres, de l'église située au pied d'une colline et entourée de maisons. Pluie.
2	Un homme à sa charrue, sur un des points les plus élevés du territoire, a été précipité d'un côté et ses chevaux de l'autre. Pas d'arbres. Orage venant de l'Est.
2	La foudre a causé divers dégâts dans une maison de 10 mètres entourée de mûriers et d'une prairie. Trois enfants ont reçu de fortes commotions. Pluie.
3	A Tarzy le toit d'une grange a été enlevé. A Soquettes un arbre a été atteint.
3	Deux vaches ont été tuées dans une pâture, sur un terrain élevé, à 600 mètres à l'est de Brunehamel. Pluie préalable.
3	La cheminée du château (8 mètres), bâti sur le point le plus élevé de la commune, a été démolie; la charpente a été endommagée. Pluie préalable.
3	La foudre a frappé le côté est du bâtiment de la station du chemin de fer et a pénétré dans le bureau du chef de station. Pluie.
3	La foudre a parcouru une usine sans causer de dégâts.
3	Un peuplier de 18 mètres, entouré d'arbres moins hauts, et à 50 mètres des maisons, a été atteint. Pluie préalable.
3	Un arbre de 4^m, 50 a été atteint.
3	La foudre a frappé un clocher de 25 mètres et parcouru l'église, un homme tué, un homme blessé. Plusieurs personnes renversées. Pluie avec un peu de grêle.
3	Un orme de 25 mètres, entouré d'arbres et de haies (village du Chien), a été dépouillé de son écorce sur presque toute sa hauteur. Pluie.
3	La cheminée (élevée de 15 mètres) d'une maison entourée de jardins et d'arbustes a été frappée. Pluie.
3	La foudre est tombée dans un herbage planté de pommiers, à 60 mètres de l'église munie d'un paratonnerre élevé de 26 mètres, en mauvais état. Trois personnes atteintes. Pluie.
3	La foudre a légèrement détérioré l'enveloppe en bois d'un réservoir d'eau en tôle de 100 mètres cubes, élevé de 12 mètres. Pluie et grêle.
3	La tour du château (30 mètres) a été atteinte. Dégâts divers dans les appartements. Un homme renversé.
3	La foudre a frappé un fil de fer soutenant une vigne et l'a suivi jusqu'au grenier d'une maison qu'elle a incendiée. Pluie torrentielle.
3	Une meule de foin, de 5 mètres, isolée, a été incendiée.
3	La cheminée, élevée de 12 mètres, du bâtiment de la station, isolée sur un point culminant, a été détériorée; pas de dégâts notables dans l'appartement. Forte pluie après le coup.
4	Près d'une haie, dans un herbage en terrain rocailleux, un homme a été tué et une femme brûlée à la poitrine. Pluie.
4	Une ferme isolée entourée d'arbres, en pays très plat, a été incendiée. Un arbre a été coupé. Pluie.
4	Une maison de 7 mètres, située à 25 mètres d'un parc planté d'arbres très élevés, a subi divers dégâts. Une perche de puits, à 10 mètres de là, a été éraflée. Le coup paraît avoir été double. Pluie.
4	La foudre a frappé une bergerie en bois de 4^m, 50, sur un plateau, à 106 mètres d'arbres plus élevés. Dix moutons tués. Le berger et son chien ont éprouvé une violente commotion. Coup suivi de pluie.
5	Dégâts sur la toiture élevée de 20 mètres d'une école entourée de jardins et de maisons basses, à 100 mètres d'un clocher très élevé avec paratonnerre. Grande pluie.
5	La foudre a frappé une cheminée d'usine de 25 mètres isolée, a suivi une échelle en fer intérieure et troué la maçonnerie. Pluie et grêle préalablement.

DATES.	HEURES.	LOCALITÉS.	DÉPARTEMENTS.	PERSONNES		ANIMAUX	
				tuées.	atteintes.	tués.	atteints

MOIS DE

5	3,30 s.	Amiens.	Somme.	»	»	»	»
5	3,30 s.	Andechy.	Somme.	»	»	»	»
5	4 s.	Marre.	Meuse.	»	»	1 cheval.	»
5	4 s.	Verdun.	Meuse.	»	»	»	»
5	5 s.	Bar-le-Duc.	Meuse.	»	»	»	»
5	7 s.	Jarny.	Meurthe-et-Mos.	»	»	»	»
6	8 m.	Vagney.	Vosges.	»	»	»	»
6	1 s.	Alençon.	Orne.	»	»	»	»
6	3 s.	Lagarde.	Corrèze.	»	»	»	»
6	4 s.	La Côte.	Haute-Saône.	»	»	»	»
6	8,30 s.	Bourmont.	Haute-Marne.	»	»	»	»
8	4,30 s.	Beaune.	Côte-d'Or.	»	»	»	»
8	8 m.	Arches.	Vosges.	»	»	»	»
8	8,15 m.	Saint-Cyr-sur-Morin.	Seine-et-Marne.	»	1 femme.	»	»
8	8,30 m.	Dinan.	Côtes-du-Nord.	»	1 femme.	»	»
8	2,45 s.	Mereuil.	Hautes-Alpes.	1 homme.	1 femme.	1 chèvre.	»
9	1 m.	Palhers.	Lozère.	»	»	11 moutons	»
9	4 m.	Lunel-Viel.	Hérault.	»	»	»	»
9	10 m.	Fleury.	Meuse.	»	»	»	»
9	11 m.	Saint-Dizier.	Haute-Marne.	»	3 hommes.	»	»
9	11,45 m.	Saint-Dizier.	Haute-Marne.	»	»	»	»
9	12,30 s.	Triaucourt.	Meuse.	»	»	»	»
9	12,30 s.	Marc-en-Barouel.	Nord.	»	»	»	»
9	12,40 s.	Lyon.	Rhône.	»	»	»	»
9	9 s.	Maubourguet.	Hautes-Pyrénées.	»	»	»	»
10	1 s.	Saint-Saens.	Seine-Inférieure.	»	»	»	»
11	11,45 m.	Pouan.	Aube.	»	»	»	»

DATES.	OBJETS FRAPPÉS. DESCRIPTION DES LIEUX. DÉGATS PRODUITS. OBSERVATIONS.
JUIN (SUITE).	
5	Une façade et le toit d'une maison de 5 mètres, faisant partie d'un groupe de maisons de même hauteur, ont été touchés. Grande pluie.
5	La foudre a avarié le toit d'une grange de 4 mètres à 25 mètres d'arbres plus élevés, ainsi qu'une cuve en zinc pleine d'eau placée sur ce toit. Pluie préalable.
5	Un attelage de plusieurs chevaux et le conducteur ont été frappés près du fort de Marre. Le cheval de devant a été tué. Paratonnerre à 80 mètres.
5	Des pierres chargées sur un chariot en repos, sans attelage ni conducteur, ont été broyées.
5	La foudre a détérioré et fendu le faite d'une cheminée de 18 mètres, sur le bord de l'Ornain, à 150 mètres d'un paratonnerre de 44^{m},50. Pluie.
5	La foudre a frappé à 14 mètres du sol et détérioré un clocher terminé par une girouette élevée de 35 mètres. Forte pluie après le coup.
6	Un sapin de 15 mètres, isolé sur une colline, a été frappé à la cime et brûlé en partie. Pluie.
6	La foudre a frappé la cheminée élevée de 12 mètres d'une maison environnée de constructions plus hautes, et enflammé le foin du grenier. Pluie.
6	A une seconde d'intervalle, la foudre a atteint un orme de 20 mètres, et une petite construction voisine qui a été incendiée. Pluie.
6	Un trou circulaire de 1^{m}, 20 de profondeur a été creusé dans une tranchée sur le talus de la route au-dessous d'un char non atteint. Pluie.
6	Un peuplier de 8 mètres a été atteint sur une colline à 25 mètres d'habitations. Pluie.
8	Dégâts à la toiture d'un atelier élevé de 10 mètres, près d'une maison ordinaire, à 50 mètres d'un paratonnerre. Pluie, quelques grêlons.
8	Dégâts dans une maison élevée de 9 mètres, à 8 mètres d'une autre maison. Pays encaissé entre les montagnes. Une femme renversée. Pluie.
8	La cheminée élevée de 7^{m}, 50 d'une maison isolée sur une colline a été frappée. Une femme a ressenti une violente commotion. Pluie.
8	La foudre a traversé la cheminée (12 mètres) d'une maison adjacente à une autre plus basse et est descendue au rez-de-chaussée. Pluie.
8	Dégâts dans une maison de 6 mètres isolée dans une vallée sans arbres. Un homme et une chèvre tués. Une femme blessée. Pluie.
9	Plateau dénudé à 939 m. d'altitude. Fulgurites de 1 m. de profondeur. 11 moutons tués sur 100. Pluie.
9	Clocher élevé de 15 mètres sans paratonnerre. Dégâts divers; horloge détruite. Pluie et grêle préalablement.
9	La foudre a émoussé et recourbé la pointe d'un paratonnerre élevé de 12 mètres. Trois hommes travaillant près de là ont senti une forte commotion. Gouttes de pluie.
9	La cheminée d'une maison de 9 mètres formant angle de deux rues a été brisée. La foudre est descendue par deux corps pendants. Coup suivi de pluie et grêle.
9	La foudre a détérioré une cheminée et frappé trois autres bâtiments assez rapprochés. Après le coup, forte pluie avec un peu de grêle.
9	Une ouverture a été pratiquée dans le toit d'une maison.
9	Dégradations à la cheminée élevée de 11 mètres d'une maison isolée en pays plat, dominant une avenue de tilleuls. Pluie.
9	Dégâts divers au pignon et dans une pièce d'une maison de 5 mètres sur le côté d'un chantier de matériaux de la voie ferrée. Pluie.
9	Dégradations aux latrines de la station, construction de 4^{m},50 entourée d'arbres la dominant de 5 mètres. Violente pluie.
10	La foudre a incendié le clocher surmonté d'une croix en fer (40 mètres); cloches fondues, église endommagée. Pluie.
11	La foudre a frappé le pied d'une girouette élevée de 6 mètres sur l'arrête E d'une maison entourée de plus hautes. Commencement d'incendie. Pluie et grêle.

DATES.	HEURES	LOCALITÉS.	DÉPARTEMENTS.	PERSONNES tuées.	PERSONNES atteintes.	ANIMAUX tués.	ANIMAUX atteints.
						MOIS DE	
12	12,15 s.	Saint-Genest-Malifaux.	Loire.	»	»	»	»
12	2 s.	Corté.	Corse.	1 homme.	»	»	»
13	3,55 s.	Trets.	Bouch.-du-Rhône.	»	»	»	»
13	4,15 s.	Gémenos.	Bouch.-du-Rhône.	»	»	»	»
16	1,50 s.	Saint-Laurent.	Seine-Inférieure.	»	»	1 pouliche.	»
16	6 s.	Saint-Dizier.	Haute-Marne.	»	»	»	»
17	3 s.	Louvemont.	Haute-Marne.	»	»	»	»
19	6,10 s.	La Celle-Dunoise.	Creuse.	»	»	»	»
20	2 s.	Épinal.	Vosges.	»	»	»	»
21	9.30 s.	Lyon.	Rhône.	»	6 personnes	»	»
24	7 s.	Hendaye.	Basses-Pyrénées.	»	»	»	»
24	11,30 s.	Saint-Aubin-Quillebœuf.	Eure.	»	»	2 chevaux.	»
25	1,20 m.	Grisolles.	Tarn-et-Garonne.	»	»	»	»
25	1,45 m.	Juillé.	Charente.	»	1 homme.	»	»
25	3.30 m.	Saint-Maurice.	Creuse.	»	»	brebis.	»
25	1,30 s.	Chaumont.	Haute-Marne.	»	»	»	»
25	1,40 s.	Glénat (Artonne).	Puy-de-Dôme.	»	»	»	»
25	2,30 s.	Ambérieu.	Ain.	»	»	»	»
25	3 s.	Mende.	Lozère.	»	»	»	»
25	3,12 s.	Saint-Aubin-sur-Yonne.	Yonne.	»	»	»	»
25	3,15 s.	Vitrac.	Puy-de-Dôme.	1 homme.	»	»	»
25	3,20 s.	Saint-Loup-d'Ordon.	Yonne.	»	»	»	»
25	3,20 s.	Saint-Julien-du-Sault.	Yonne.	»	»	»	»
25	3,45 s.	Guerchy.	Yonne.	»	»	»	»
25	4 s.	Meung-sur-Beuvron.	Loir-et-Cher.	»	»	1 vache.	»
25	5 s.	Conand.	Ain.	»	1 h., 1 fem	»	»
25	5,30 s.	Champ.-en-Valronay.	Ain.	»	»	»	»
25	5,30 s.	Vuiz-en-Salley.	Haute-Savoie.	»	»	»	»

DATES.	OBJETS FRAPPÉS. DESCRIPTION DES LIEUX. DÉGATS PRODUITS. OBSERVATIONS.
JUIN (SUITE).	
12	La foudre a frappé le toit d'une maison, à 25 mètres du clocher. A 2 heures 30 minutes, le clocher lui-même a été endommagé. Pluie et grêle fine.
12	Le toit d'une maison de 10 mètres a été percé; un homme tué. A 100 mètres de là se trouve un paratonnerre en bon état, plus élevé de 60 mètres. Un peu de pluie et de grêle.
13	Dégâts divers dans une maison élevée de 10 mètres, isolée, entourée d'arbres moins élevés. Pluie.
13	Avaries à une fenêtre au premier étage d'une maison. Pluie torrentielle.
16	Dans une vaste plaine, sans arbres, une pouliche sans fers, portant un licol en cuir avec anneaux et boucles en fer, a été tuée. Pas de pluie.
16	La foudre a frappé la cheminée d'une maison de $6^{m},50$ à l'angle d'une rue, près de constructions semblables. Pluie préalable.
17	Le mur, épais de $0^{m}, 55$, d'une chambre à four élevée de 2 mètres, et situé à 5 mètres d'un corps de logis, élevé de 5 mètres, a été percé. Pluie préalable.
19	Dégâts nombreux dans une maison élevée de 13 mètres qui a été frappée sur la cheminée nord-est. Pluie.
20	La foudre est tombée sur un sol gazonné, à quelques mètres d'une baraque en bois, à 100 mètres d'un paratonnerre. Coup suivi de pluie.
21	Dégâts divers aux cheminées et dans les appartements de deux maisons contiguës. Six personnes ont éprouvé des commotions. Pluie préalable.
24	Trois arbres et le paratonnerre de Fontarabie, frappés successivement dans l'espace d'une heure dix minutes.
24	Une jument et son poulain tués dans un herbage en terrain plat, à 250 mètres du village. Pluie.
25	La foudre a frappé la cheminée nord d'une maison de 8 mèt., isolée, en pays plat. Dégâts divers. Pluie.
25	Dégâts dans une guérite, de $2^{m},75$, sur une voie ferrée, près des fils télégraphiques et de grands arbres. Un homme resté sans connaissance une heure. Grande pluie.
25	Dégâts nombreux dans une grange de 8 mètres, à 30 mètres d'autres maisons et d'un peuplier très élevé. Coup double. Pluie torrentielle.
25	Une décharge a traversé les cuisines des casernes, près de bâtiments plus hauts, et a atteint, à 20 mètres de là, un bâtiment plus élevé. Pluie.
25	Le bord sud du faîtage d'une grange, voisine e deux maisons moins élevées, a été troué et les fourrages ont été incendiés. Forte averse.
25	La foudre a atteint la cheminée (10 mètres) d'une maison isolée et est descendue sur le toit d'un atelier adossé à la maison. Pluie.
25	La foudre a frappé à la fois un noyer de 7 mètres et un mur en pierres sèches, de $1^{m},50$, auquel il est adossé. Mur démoli. pluie et grêle.
25	Un pêcher, de 3 mètres, planté dans les vignes sur le versant est d'une colline, a été en partie brûlé et déraciné, ainsi que les ceps voisins. Pas de pluie préalablement.
25	Une maison de 15 mètres, entourée de bâtiments, en pays plat, a été atteinte. Un homme tué.
25	Un pommier, de 5 mètres, faisant partie d'une rangée, a eu une branche cassée. A ce moment, un pot de fleurs était brisé sur une fenêtre, à Cudot, à 1,500 mètres de là. Pluie.
25	Le couronnement de la cheminée ($12^{m}, 40$) de la station, isolée en pays plat, a été atteint et brisé. Pluie préalable.
25	Une grange, élevée de $7^{m},.50$, environnée de maisons de même hauteur, à 30 mètres d'un château beaucoup plus élevé, a été incendiée. Pluie douce.
25	Une vache broutant un chêne de $2^{m},50$, isolé, a été tuée. Pluie après le coup.
25	Deux hommes et une femme, se trouvant dans les vignes, loin d'arbres et de maisons, ont été atteints et brûlés. Trombe préalable.
25	La foudre a frappé le toit (17 mètres) d'une maison entourée de constructions, sur une colline, et a rebondi sur la place. Pluie et grêle.
25	Un poirier de 20 mètres, entouré d'arbres moins élevés, a été fendu et dépouillé de la plupart de ses branches. Pluie et grêle.

DATES.	HEURES.	LOCALITÉS.	DÉPARTEMENTS.	PERSONNES tuées.	PERSONNES atteintes.	ANIMAUX tués.	ANIMAUX atteints.
						MOIS DE	
26	3,35 s.	Valence.	Drôme.	»	1 femme.	»	»
28	3 s.	Éloges.	Vosges.	1 homme.	1 homme.	»	»
29	4 s.	La Serre.	Creuse.	»	»	»	»
29	4 s.	Mirandouz.	Gers.	»	»	»	»
29	5 s.	Le Quartier.	Puy-de-Dôme.	»	»	1 vache.	»
29	5,15 s.	Varennes-sur-Armance.	Haute-Marne.	»	»	»	»
29	6 s.	Fals.	Lot-et-Garonne.	»	»	»	»
29	6,30 s.	Fort Saint-Eymard.	Isère.	»	plus. soldats.	»	»
29	6,45 s.	Sablé-sur-Sarthe.	Sarthe.	»	»	»	»
29	7 s.	Vassy.	Calvados.	»	Jeune fille.	»	»
29	8,30 s.	Nonards.	Corrèze.	»	»	»	»
29	2 m.	Écouché.	Orne.	»	»	»	»
30	?	Perrier.	Puy-de-Dôme.	»	1 homme.	»	»
30	1 m.	Hondaux.	Haute-Savoie.	»	»	40 moutons	»
30	1,15 m.	Havre.	Seine-Inférieure.	»	»	»	»
30	4 m.	Octeville.	Seine-Inférieure.	»	»	»	»
30	2,40 s.	Champlitte.	Haute-Saône.	»	1 homme.	»	»
30	3,30 s.	Vitrey.	Haute-Marne.	»	»	»	»
30	4 s.	Savigny.	Haute-Marne.	»	»	»	»
30	5 s.	Aix-la-Fayette.	Puy-de-Dôme.	»	Jeune fille.	»	2 vaches et 1 chien.
30	5,20 s.	La Biolle.	Savoie.	»	»	»	»
30	6,28 s.	Libourne.	Gironde.	»	»	»	»
30	6,30 s.	Granville.	Manche.	»	»	»	»
30	9 s.	Fort du Bruissin.	Rhône.	»	»	»	»
30	?	St-Georges-d'Hurtières.	Savoie.	»	»	2 vaches.	»

DATES.	OBJETS FRAPPÉS. DESCRIPTION DES LIEUX. DÉGATS PRODUITS. OBSERVATIONS.
JUIN (FIN).	
26	Détériorations dans une maison à trois étages, à 100 mètres d'une église protégée par deux paratonnerres. Pluie et grêle.
28	De deux hommes abrités sous un bouleau, de 4^{m},30, l'un, portant une faulx, a été tué; l'autre simplement renversé. Grêle.
29	Une maison de 7 mètres, couverte en chaume, voisine d'une maison de 6 mètres, a été incendiée. Ni pluie, ni grêle.
29	Un même coup a frappé un chêne de 8 mètres et la cheminée du château de Fieux, isolé sur un plateau. Trombe après le coup.
29	Un bâtiment (10 mètres) du village, situé sur une colline, a été frappé et incendié. Pluie.
29	Commencement d'incendie dans une maison de 4 mètres entourée d'autres constructions. Trombe.
29	Un ancien moulin à vent, de 13 mètres, situé sur un monticule dominant les environs, a été incendié. Pluie.
29	La foudre a frappé un poteau en bois de 7 mètres à 8 mètres, et, après l'avoir pulvérisé, a causé divers dégâts à une construction voisine. Les hommes du poste ont reçu une violente commotion. Dans un espace de deux heures et demie, la foudre est tombée plusieurs fois dans la vallée.
29	Dégâts divers à une maison d'habitation. (Gouttière en zinc percée, gonds descellés, conduite de gaz coupée, etc.)...
29	La foudre a atteint un arbre de 10 mètres, au bord d'une mare, à 10 mètres de maisons, et projeté une jeune fille à terre.
29	Une décharge a frappé la cheminée (13 mètres) d'une maison isolée, entourée d'arbres. Dégâts dans le bâtiment. Pluie.
30	Deux maisons entourées d'arbres ont subi des dégâts. Pluie et grand vent.
30	La foudre a frappé le clocher terminé par une croix (34 mètres) et traversé l'église. Un homme momentanément paralysé. Pluie.
30	40 moutons tués près d'un chalet de 4 mètres, entouré d'arbres, qui a reçu une forte secousse. Pluie préalable.
30	La foudre a frappé le paratonnerre ouest du théâtre, mais, au lieu de suivre le conducteur, a sauté sur une échelle de sauvetage et causé différents dégâts. Elle a frappé également deux autres points dans le voisinage. Pluie, grêle et grand vent.
30	Une fenêtre a été brisée dans une boulangerie entourée de maisons de même hauteur. Pluie avant, grêle après.
30	Un acacia de 10 mètres, formant bordure avec d'autres espacés de 20 mètres, a été frappé à 6 mètres de hauteur et fendu sur 3 mètres de long. Coup suivi d'une trombe d'eau.
30	Deux peupliers de 12 mètres, au bord d'une rivière, en pleine ont été brisés par leur milieux. Coup double. Pluie.
30	Une maison de 9 mètres, au pied d'un coteau de vigne exposé au nord, a été incendiée. Trombe d'eau après le coup.
30	La foudre a atteint une grange isolée, sur une élévation, étourdi une jeune fille, frappé 2 vaches et 1 chien. Un peu de pluie et de grêle.
30	La foudre a frappé le clocher de l'église, élevé de 22 mètres, situé sur une colline, au milieu de maisons. Pluie.
30	Un wagon à marchandises, placé parmi d'autres wagons, a été atteint. Pluie préalable.
30	La foudre a frappé à trois reprises, en deux minutes, le paratonnerre du phare de Granville, qui a fonctionné régulièrement. Grande pluie préalable.
30	Dans l'espace de une heure et demie, un des paratonnerres a été frappé trois fois; il a fonctionné régulièrement. Pluie et grêle.
30	Dégâts divers dans une écurie de 6 mètres, située sur une colline, au milieu d'arbres élevés. 2 vaches tuées. Grêle.

NOTE

SUR LE MODE D'INSTALLATION

ET

LA SITUATION DU RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE

DE LA SOCIÉTÉ GÉNÉRALE A PARIS

AU 31 DÉCEMBRE 1883

La Société générale des téléphones, jusqu'à ce jour unique concessionnaire des réseaux téléphoniques en France, n'exécute que les installations chez les abonnés et la pose des conducteurs jusqu'à la façade de leurs domiciles.

A partir de ce point, c'est l'État qui se charge de l'établissement et de l'entretien des conducteurs jusqu'à l'entrée du bureau Central ou des succursales ; il pourvoit également aux communications auxiliaires de bureau à bureau.

Dans le principe, une partie des lignes ont été construites aériennes, et un seul fil desservait alors chaque abonné ; mais après la fusion des trois sociétés qui, au début, avaient obtenu des concessions à Paris, et par suite de la convention passée le 29 juillet 1881 avec la ville, les communications aériennes furent supprimées petit à petit, et l'on n'eut plus recours à ce mode d'installation que dans des cas exceptionnels,

notamment à défaut d'égout pour atteindre le domicile de l'abonné.

Le réseau est donc essentiellement souterrain.

Il est construit au moyen de câbles sous plomb à deux et à quatorze conducteurs.

Chaque circuit est entièrement métallique, et les deux fils isolés qui le constituent sont cordelés de manière à éviter les effets d'induction téléphonique ou télégraphique, que nous avons ainsi réussi à supprimer entièrement.

Le câble à quatorze conducteurs forme le tronçon principal d'un réseau partiel de sept abonnés, chez lesquels il se ramifie au moyen de câbles à deux fils.

Bien des types de câbles ont été étudiés et mis à l'essai; des considérations économiques et l'obligation imposée de n'occuper qu'une place très limitée dans les égouts ont amené à adopter définitivement un modèle dont voici la spécification.

L'âme est formée d'un toron de trois brins de fil de 5/10 millimètres; elle est revêtue d'une couche de gutta-percha portant son diamètre à 25/10 millimètres. Le tout est enveloppé d'un guipage de coton et d'une gaîne de plomb.

Le diamètre total, plomb compris, est de $0^{m},006$ pour le câble à deux fils et de $0^{m},018$ pour le câble à quatorze conducteurs.

Chaque fil doit présenter un isolement, à 14° et dans l'eau, de 25 mégohms par kilomètre, et la résistance électrique de l'âme ne doit pas dépasser 30 ohms par kilomètre.

L'emplacement concédé par la ville de Paris est, en hauteur, de $0^{m},30$ dans les égouts de grand type, et de $0^{m},15$ dans ceux de petite dimension; et, dans

les deux cas, il faut que la saillie ne soit pas de plus de $0^m,07$.

On peut loger dans ces espaces de dix-huit à quarante-quatre câbles à quatorze fils, soutenus par des équerres de scellement de une à trois branches.

La Société générale des téléphones dirige entièrement l'exploitation de ses lignes télégraphiques ; nous n'avons donc pas qualité pour en parler et nous ne nous occuperons que de la situation de son réseau au 31 décembre, en ce qui concerne l'établissement des communications électriques et du nombre des abonnés desservis.

Nous en donnons ci-dessous les éléments principaux qui nous paraissent suffisants pour la caractériser.

1° Nombre de bureaux ouverts	12
2° Abonnés par bureaux :	
Avenue de l'Opéra	603
Rue Logelbach	301
Boulevard de la Villette	202
Place de la République	418
Rue de Lyon	114
Avenue des Gobelins	80
Rue du Bac	201
Rue Lecourbe	50
Rue de Passy	89
Rue Lafayette	373
Rue Étienne Marcel	409
Rue d'Anjou	199
Total	3039
Nombre d'abonnés au 31 décembre 1882	2347
Différence en plus	692

3° Lignes comprises dans l'enceinte de Paris :			
Sections souterraines	en service	$4625^k,414$	(fil double
	disponibles	$1253^k,586$	id.
Sections aériennes		$22^k,393$	id.
4° Lignes extérieures :			
Parties souterraines		$21^k,102$	id.
Parties aériennes		$99^k,025$	id.
Total général		$6021^k,720$	

Le développement du réseau en fil simple dépasse donc 12.000 kilomètres.

Les lignes extérieures desservent soixante-dix abonnés ; elles sont raccordées au réseau intérieur dans des guérites ou des boîtes de jonction installées à proximité des fortifications.

Les dérangements que nous avons eu à rechercher pendant l'année 1883, sont au nombre de 393, sur lesquels 211 seulement ont été constatés et réparés sur le réseau que l'administration est chargée d'entretenir.

Nous estimons qu'il y a lieu de se féliciter de ce résultat, surtout si l'on tient compte des conditions toutes spéciales qui ont fixé les modèles des câbles, dont il n'est pas possible d'ailleurs de déterminer encore la durée même approximative.

CAËL.

Paris, le 8 Février 1884.

NOTE

SUR LES

TRANSMISSIONS TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

(INFLUENCE DE LA RÉSISTANCE ET DE LA CAPACITÉ DES LIGNES AINSI QUE DES PHÉNOMÈNES D'INDUCTION.)

I. **Transmission télégraphique.** — Le problème de la transmission télégraphique sur une ligne quelconque, en particulier sur les câbles sous-marins, a été traité dès 1856 par Sir W. Thomson (*Philosophical Magazine*). Sa théorie, qui est fondée sur l'hypothèse de Fourier étendue à la propagation de l'électricité, a été reproduite par divers auteurs, et les formules très simples qu'il a données pour calculer le retard causé dans la transmission par la capacité et la résistance de la ligne sont restées classiques. Nous renverrons, pour le développement de cette théorie, aux articles que M. Blavier a publiés à ce sujet dans les *Annales télégraphiques* (1860) et aux *Leçons d'électricité et de magnétisme* de MM. Mascart et Joubert. Nous allons seulement ajouter ici quelques observations au sujet : 1° de l'effet utile du courant à l'arrivée dans l'appareil récepteur ; 2° de l'action nuisible de l'induction provenant des fils voisins.

Effet utile du courant à l'arrivée. — Nous supposerons, pour fixer les idées, que le récepteur consiste

en un électro-aimant. Si i désigne l'intensité du courant, les aimantations produites dans le noyau de fer doux et dans la palette peuvent être considérées comme à peu près proportionnelles à i, et la force d'attraction qui agit sur la palette comme proportionnelle à i^2, soit ki^2 cette force; ki^2dt représente la quantité de mouvement ou l'impulsion produite par le courant sur la palette pendant le temps dt. L'impulsion totale sera $k\int_0^T i^2dt$, en désignant par T le temps pendant lequel le courant agit sur le récepteur, et en supposant constante la valeur de k.

Pour calculer cette intégrale, remarquons que C et R étant la capacité et la résistance totales de la ligne, E la force électromotrice employée, τ la durée de l'émission du signal, i est la différence entre l'intensité i_1 qui serait due à la force électromotrice $+E$ fonctionnant depuis le temps $t=o$, et l'intensité i_2 due à la force $-E$ fonctionnant seulement depuis le temps $t=\tau$. Or on sait que i_1 est de la forme : $i_1=\frac{E}{R}\varphi\left(\frac{t}{CR}\right)$, $\varphi\left(\frac{t}{CR}\right)$ représentant la fonction : $1-2\left(e^{-\frac{\pi^2t}{CR}}-e^{-\frac{4\pi^2t}{CR}}+e^{-\frac{9\pi^2t}{CR}}-\dots\right)$. On a de même $i_2=\frac{E}{R}\varphi\left(\frac{t-\tau}{CR}\right)$. Par conséquent :

$$i=i_1-i_2=\frac{E}{R}\left[\varphi\left(\frac{t}{CR}\right)-\varphi\left(\frac{t-\tau}{CR}\right)\right],$$

et si la durée τ de l'émission est assez faible relativement à CR (supposition que l'on fait ordinairement pour simplifier les calculs) :

$$i=\frac{E}{R}\cdot\varphi'\left(\frac{t}{CR}\right)\cdot\frac{\tau}{CR},$$

la dérivée $\varphi'\left(\frac{t}{CR}\right)$ étant prise, non par rapport à t, mais par rapport à $\frac{t}{CR}$. Donc finalement

$$k\int i^2 dt = k\left(\frac{E}{R}\right)^2\left(\frac{\tau}{CR}\right)^2\cdot\int_0^T \varphi'^2\left(\frac{t}{CR}\right)\cdot dt.$$

Comme T est le temps au bout duquel on peut supposer nulles l'intensité i et par suite la fonction $\varphi'\left(\frac{t}{CR}\right)$, l'intégrale $\int_T^\infty \varphi'^2 dt$ est sensiblement nulle, et l'on peut remplacer $\int_0^T$ par $\int_0^\infty$. Or on a

$$\int_0^\infty \varphi'^2\left(\frac{t}{CR}\right)\cdot dt = CR\int_0^\infty \varphi'^2\left(\frac{t}{CR}\right)\cdot d\left(\frac{t}{CR}\right) = k'\cdot CR,$$

k' étant un coefficient numérique indépendant de C et de R.

On trouve ainsi pour l'impulsion totale produite par le courant sur la palette de l'électro-aimant $k\int i^2 dt = k.\left(\frac{E}{R}\right)^2.\left(\frac{\tau}{CR}\right)^2.k'CR$, soit

$$K\left(\frac{E}{R}\right)^2\frac{\tau^2}{CR},$$

en posant $K = kk'$. Cette formule n'est qu'approchée à cause des suppositions que nous avons faites et qui ne sont pas tout à fait réalisées pratiquement. L'approximation est de l'ordre de celles dont on se contente dans des calculs semblables, et la formule peut servir, sinon à calculer l'effet utile du courant, du moins à se faire une idée de sa valeur suivant la capacité et la résistance de la ligne et la durée τ de l'émission. Toutefois, comme on a supposé la durée τ de l'émission assez faible par rapport à CR, le raison-

nement précédent ne peut s'appliquer qu'à de longues lignes pour lesquelles la valeur du produit CR est notable.

On voit que si l'on pouvait considérer l'effet utile du courant comme représenté par $K\left(\frac{E}{R}\right)^2 \cdot \frac{\tau^2}{CR}$, et s'il suffisait, pour une bonne transmission, d'arriver à donner à cet effet une valeur minimum égale à a, on devrait poser

$$K\left(\frac{E}{R}\right)^2 \frac{\tau^2}{CR} = a,$$

et en supposant $K\left(\frac{E}{R}\right)^2$ constant pour des lignes de diverses longueurs, il en résulterait que les durées τ des émissions devraient être allongées proportionnellement à $\sqrt{CR}$, c'est-à-dire aux longueurs des lignes. Mais le récepteur pouvant être tout autre qu'un électro-aimant, et du reste diverses autres considérations devant entrer en ligne de compte, le résultat précédent devra être modifié et sera essentiellement variable suivant les cas.

Induction provenant des fils voisins. — Nous nous bornerons ici à analyser sommairement ce phénomène, nous réservant de montrer plus loin comment on peut le soumettre au calcul. Si l'on considère sur une ligne une section A de faible longueur, les courants transmis sur les fils voisins développent sur cette section, en raison non de leur intensité même, mais de la variation de leur intensité, une force électromotrice induite. Cette force varie à chaque instant. Soit e sa grandeur à un moment donné : 1° si la section A est à l'extrémité de la ligne opposée au récepteur, la force e se superpose simplement à celle de la pile de transmis-

sion, c'est-à-dire à E. Comme e n'est en général qu'une faible fraction de E, son effet nuisible au récepteur est insignifiant; 2° si la force e est développée sur une section A prise au milieu de la ligne, le courant induit sera exactement le même sur les deux moitiés de la ligne que si ces deux moitiés formaient deux lignes distinctes, une force égale à $\frac{e}{2}$ étant développée sur chacune d'elles. Le courant induit au récepteur étant donc le même que si la longueur de la ligne et la force électromotrice induite étaient simultanément réduites de moitié, son effet nuisible sera bien plus considérable que dans le cas précédent; 3° enfin si l'induction a lieu à l'extrémité de la ligne voisine du récepteur, quoique la force e soit très faible par rapport à E, son effet nuisible pourra troubler complètement les transmissions.

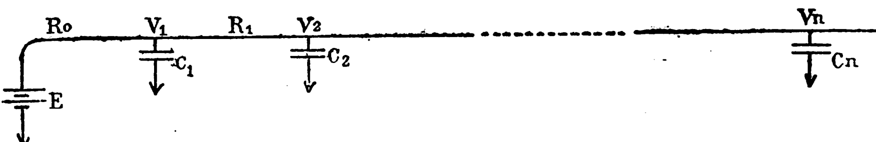
En réalité, l'induction se produit tout le long de la ligne; mais c'est sur les sections voisines du récepteur, à peu près exclusivement, qu'elle devient assez gênante. Au fur et à mesure que l'on prend des sections plus éloignées, son effet nuisible diminue rapidement. Toutefois cela n'est vrai que pour des lignes de grandes longueurs, dans lesquelles le produit de la capacité par la résistance atteint une valeur notable; car c'est sur de telles lignes que des émissions de courants (courants directs des transmissions ou courants induits) produisent des effets très différents sur le récepteur suivant que la force électromotrice est placée à une extrémité ou à l'autre du fil.

D'après ce que l'on vient de voir on n'a guère à combattre que l'induction provenant des parties de la ligne voisines du récepteur. Si elle devient trop gê-

nante, on peut y remédier de diverses manières, entre autres de la manière suivante, qui résulte des observations que nous venons de développer. On établira entre le fil et les récepteurs des lignes factices de capacité c et de résistance r, de telle sorte que le courant reçu par un poste traverse la ligne factice avant le récepteur, mais que le courant émis par ce poste ne la traverse pas. On augmentera c et r jusqu'à ce que les courants induits soient assez affaiblis. Il est vrai que l'intensité de la transmission sera aussi affaiblie ; mais elle le sera dans un rapport bien moins grand. En effet, tout se passera comme si l'induction se produisait à une distance du récepteur égale à la longueur d'une section de ligne de capacité c et de résistance r, et il n'est pas nécessaire que c et r soient bien grands pour que l'induction soit notablement diminuée ; tandis que les courants émis par le poste correspondant ne seront affaiblis que dans une faible proportion en raison des petits accroissements relatifs $\frac{c}{C}$ et $\frac{r}{R}$ de la capacité et de la résistance totales de la ligne télégraphique.

On pourrait employer d'autres procédés pour combattre l'induction des fils voisins, par exemple remplacer la ligne factice dont nous venons de parler par une bobine d'induction ou un électro-aimant. Quel que soit d'ailleurs le procédé employé, puisque l'on veut réduire les courants induits développés sur le fil télégraphique, on réduira forcément aussi l'intensité des signaux qui arrivent par le même fil. Les remèdes employés consisteront seulement à diminuer l'induction beaucoup plus que les courants utiles.

II. **Propagation du courant sur une ligne télégraphique factice.** — Dans la théorie des transmissions télégraphiques donnée par sir W. Thomson, on suppose la capacité totale répartie tout le long de la ligne d'une manière continue et uniforme. Or la ligne est toujours prolongée par les appareils, qui offrent une certaine résistance. En outre on peut établir des lignes factices soit sur le prolongement du fil, soit en dérivation comme pour la transmission en duplex. On a intérêt à savoir comment le courant se propage dans ces divers cas. Nous allons traiter ici le cas d'une ligne dont la capacité totale est répartie en différents points d'une manière discontinue quelconque. Ce cas comprend comme cas particuliers les précédents, notamment celui où la répartition est continue et uniforme ; et les résultats généraux que nous trouverons leur seront applicables.



Soit $EV_1V_2\ldots V_n$ une ligne dont la capacité est figurée par des condensateurs de capacités $C_1, C_2, \ldots C_n$ placés aux points V_1, V_2, V_n. Soient $R_0, R_1, R_2, \ldots R_n$ les résistances des sections comprises entre la terre et le premier condensateur, entre le premier et le second, etc., et soient :

$$C_1 + C_2 + \ldots + C_n = C,$$
$$R_0 + R_1 + \ldots + R_n = R.$$

Nous poserons :

$$\frac{C_1}{C} = \mu_1, \quad \frac{C_2}{C} = \mu_2, \quad \ldots, \quad \frac{C_n}{C} = \mu_n,$$
$$\frac{R_0}{R} = \nu_0, \quad \frac{R_1}{R} = \nu_1, \quad \ldots, \quad \frac{R_n}{R} = \nu_n,$$

d'où

$$\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n = \nu_0 + \nu_1 + \dots + \nu_n = 1.$$

La force électromotrice E étant constante, si V_1, $V_2, \dots V_n$ désignent les potentiels aux points $V_1, V_2, \dots V_n$, l'intensité i^k du courant dans la section $V_k V_{k+1}$, sera $\dfrac{V_k - V_{k+1}}{R_k}$. Ce courant se divise au point V_{k+1} entre le condensateur et la section suivante $V_{k+1} V_{k+2}$, de telle sorte que l'on a :

$$i_k = C_{k+1} \frac{dV_{k+1}}{dt} + i_{k+1},$$

ou :

$$\frac{V_k - V_{k+1}}{R_k} = C_{k+1} \frac{dV_{k+1}}{dt} + \frac{V_{k+1} - V_{k+2}}{R_{k+1}},$$

ou encore :

$$\frac{V_k - V_{k+1}}{\nu_k} = \mu_{k+1} \frac{dV_{k+1}}{d\left(\frac{t}{CR}\right)} + \frac{V_{k+1} - V_{k+1}}{\nu_{k+1}}.$$

On aura une série d'équations semblables. En remplaçant V_0 par E et V_{n+1} par 0 on aura donc :

$$(V) \begin{cases} Ri_0 = \dfrac{E - V_1}{\nu_0} = \mu_1 \dfrac{dV_1}{d\left(\frac{t}{CR}\right)} + \dfrac{V_1 - V_2}{\nu_1}, \\ Ri_1 = \dfrac{V_1 - V_2}{\nu_1} = \mu_2 \dfrac{dV_2}{d\left(\frac{t}{CR}\right)} + \dfrac{V_2 - V_3}{\nu_2}, \\ \quad \vdots \qquad\qquad \vdots \\ Ri_{n-1} = \dfrac{V_{n-1} - V_n}{\nu_{n-1}} = \mu_n \dfrac{dV_n}{d\left(\frac{t}{CR}\right)} + \dfrac{V_n}{\nu_n}. \end{cases}$$

$V_1, V_2, \dots V_n$ sont déterminés en fonction du temps t par ce système de n équations différentielles. Avant de l'intégrer, nous pouvons faire quelques remarques générales. $V_1, V_2, \dots V_n$ seront de la forme :

$$V_1 = E\varphi_1\left(\frac{t}{CR}\right), \quad V_2 = E\varphi_2\left(\frac{t}{CR}\right), \quad \dots,$$

les fonctions $\varphi_1, \varphi_2, \dots \varphi_n$ ne contenant comme paramètres que $\mu_1, \mu_2, \dots \mu_n$ et $\nu_0, \nu_2, \dots \nu_n$. Si donc l'on considère diverses lignes sur lesquelles les capacités $C_1, C_2, \dots C_n$ soient semblalement réparties, c'est-à-dire pour lesquelles les paramètres μ et ν soient les mêmes, la forme des fonctions $\varphi_1, \varphi_2, \dots \varphi_n$ sera la même pour toutes ces lignes. Il en résulte que pour deux quelconques d'entre elles on pourra écrire :

$$\frac{V_k}{E} = \varphi_k\left(\frac{t}{CR}\right) \quad \text{et} \quad \frac{V'_k}{E'} = \varphi_k\left(\frac{t'}{C'R'}\right).$$

Si l'on prend des époques t et t' telles que $\frac{t}{CR} = \frac{t'}{C'R'}$, les valeurs des fractions $\frac{V_k}{E}$ et $\frac{V'_k}{E'}$ seront égales entre elles; c'est-à-dire que les potentiels en deux points correspondants atteindront la même fraction de la valeur de E ou bien de leur valeur finale au bout de temps proportionnels au produit de la capacité totale par la résistance totale des lignes.

Dans les mêmes conditions il en sera de même des intensités aux points correspondants (en particulier dans les deux appareils récepteurs), puisque l'on a :

$$i_k = \frac{V_k - V_{k+1}}{R_k} = \frac{E}{R}\,\frac{\varphi_k\left(\frac{t}{CR}\right) - \varphi_{k+1}\left(\frac{t}{CR}\right)}{\nu_k} = I f_k\left(\frac{t}{CR}\right),$$

I représentant l'intensité finale $\frac{E}{R}$ et la fonction f_k étant la même pour toutes les lignes.

Si la durée de l'émission du courant est égale à τ, tout se passe comme si la force E étant conservée on ajoutait au temps $t = \tau$ la force $-$E. Dans ce cas l'intensité due à la force E étant $I f_k\left(\frac{t}{CR}\right)$ et l'intensité

due à la force —E étant $-\mathrm{I}\, f_k\left(\frac{t-\tau}{\mathrm{CR}}\right)$, puisque cette dernière force ne fonctionne que depuis l'époque τ, on aura, à partir de cette époque :

$$i_k = \mathrm{I}\left[f_k\left(\frac{t}{\mathrm{CR}}\right) - f_k\left(\frac{t-\tau}{\mathrm{CR}}\right)\right];$$

et l'on voit que si l'on prend pour deux lignes différentes $\frac{t}{t'} = \frac{\tau}{\tau'} = \frac{\mathrm{CR}}{\mathrm{C'R'}}$, la fraction de leurs valeurs finales que prennent les intensités en des points correspondants est la même pour ces deux lignes. En particulier les récepteurs fonctionneront de la même manière aux extrémités des deux lignes si les durées d'émission et les durées de repos sont proportionnelles à CR et C'R'; et comme, en supposant que les capacités et les résistances spécifiques soient les mêmes, les produits CR et C'R' sont proportionnels aux carrés des longueurs des lignes; on a énoncé la règle suivante : « La lenteur des transmissions est proportionnelle au carré de la longueur des lignes. »

Cette règle est loin d'être absolue. En effet si l'on ralentit la vitesse de transmission proportionnellement au produit CR, l'intensité atteindra toujours la même valeur au bout de temps proportionnels à CR. Mais sur les lignes les plus longues cette intensité se maintiendra plus longtemps, et les signaux seront plus longs en même temps que plus espacés. Leur réception sera donc bien plus facile; mais cela même montre que l'on peut accélérer la transmission. Il en résulte que dans la pratique, où l'on cherche à obtenir le maximum de rendement, on trouvera que la durée des transmissions s'accroît moins rapidement que le carré de la longueur. On ne saurait en conclure une infirma-

tion de la théorie. Du reste la vitesse de transmission pourra varier en raison inverse de la simple longueur ou du carré de la longueur suivant la nature de l'appareil récepteur; car, suivant la nature de cet appareil, pour la production d'un signal il suffira d'obtenir une certaine valeur minimum pour l'intensité du courant, ou pour le carré i^2 ou encore pour l'expression $\int i^2 dt$. (Voir ce qui a été dit plus haut à ce sujet.)

Cas d'un seul condensateur. — Dans le cas où la capacité C est concentrée en un seul point V_1, le système des équations différentielles (V) se réduit à une seule qui, intégrée, donne :

$$V_1 = E_1\left(1 - e^{-\frac{1}{\nu_0 \nu_1}\cdot\frac{t}{CR}}\right).$$

E_1 étant la valeur finale du potentiel au point V_1; et l'on a

$$i_1 = \frac{V_1}{R_1} = I\left(1 - e^{-\frac{1}{\nu_0 \nu_1}\cdot\frac{t}{CR}}\right),$$

I représentant $\frac{E}{R}$.

Si la durée de l'émission du courant est τ, à partir de l'époque τ, l'intensité i_1 deviendra, comme on le sait

$$i_1 = I\left(1 - e^{-\frac{1}{\nu_0 \nu_1}\cdot\frac{t}{CR}}\right) - I\left(1 - e^{-\frac{1}{\nu_0 \nu_1}\cdot\frac{t-\tau}{CR}}\right).$$

ou

$$i_1 = I\left(e^{\frac{1}{\nu_0 \nu_1}\cdot\frac{\tau}{CR}} - 1\right)e^{-\frac{1}{\nu_0 \nu_1}\cdot\frac{t}{CR}}.$$

Jusqu'à l'époque τ, l'intensité allait en croissant, et l'on voit qu'à partir de cette époque elle décroît. Donc le maximum de i_1 est atteint pour $t = \tau$ et est égal à

$$M = I\left(1 - e^{-\frac{1}{\nu_0 \nu_1}\cdot\frac{\tau}{CR}}\right).$$

Les valeurs de ν_0 et de ν_1 étant positives et leur somme étant égale à 1, le maximum de $\nu_0 \nu_1$ aura lieu lorsque l'on aura $\nu_0 = \nu_1 = \frac{1}{2}$, c'est-à-dire lorsque le condensateur sera placé au milieu de la ligne. Alors la valeur de *M* est minimum; c'est-à-dire que la présence du condensateur est le plus défavorable à la transmission lorsqu'il est placé au milieu de la ligne. Si au contraire on avait $\nu_0 = 0$ ou $\nu_1 = 0$, c'est-à-dire si le condensateur était placé à une extrémité de la ligne, sa présence serait sans aucune influence sur la transmission. Ce résultat peut être utile à connaître dans certains cas, par exemple lorsqu'on veut combattre l'induction des fils voisins d'une ligne télégraphique par l'interposition entre le récepteur et le fil d'une ligne factice composée d'une résistance *r* et d'un condensateur *c*. (Voir plus haut.)

Dans le cas où CR a une valeur relativement faible, la durée τ de l'émission est toujours très grande par rapport à $\nu_0 \nu_1$ CR et alors le maximum M est sensiblement égal à l'intensité I du régime permanent. Si au contraire $\frac{\tau}{\nu_0 \nu_1 CR}$ est assez faible (cas comparable à celui de longues lignes souterraines ou sous-marines), on aura approximativement

$$M = I \cdot \frac{\tau}{\nu_1 \nu_0 CR},$$

et si $\nu_0 = \nu_1 = \frac{1}{2}$,

$$M = 4I \cdot \frac{\tau}{CR} \qquad (M_1).$$

Exemple. — Soit $C = 80^{mf}$, c'est-à-dire $= 0^f,000080$ et $R = 3000^{ohms}$ (ligne factice comparable à 400^k envi-

ron de ligne souterraine). Pour une durée d'émission $\tau = 0^s,1$ par exemple, on a

$$\frac{4\tau}{CR} = \frac{5}{3}, \quad \text{et} \quad M = I\left(1 - e^{-\frac{5}{3}}\right) = 0{,}81\,I.$$

Pour $\tau = 0^s,015$,

$$\frac{4\tau}{CR} = 0{,}25, \quad \text{et} \quad M = I(1 - e^{-0{,}25}) = 0{,}22\,I.$$

Cas de deux condensateurs. — Nous supposerons pour simplifier $\nu_0 = \nu_1 = \nu_2 = \frac{1}{3}$ et $\mu_1 = \mu_2 = \frac{1}{2}$, c'est-à-dire que les capacités C_1 et C_2 sont égales et divisent la ligne en sections égales. On trouve alors en intégrant les équations (V) :

$$i_2 = I\left(1 - \frac{3}{2}\,e^{-\frac{6t}{CR}} + \frac{1}{2}\,e^{-\frac{18t}{CR}}\right).$$

Si la durée de l'émission est τ, après l'époque τ l'intensité est

$$I\left(1 - \frac{3}{2}\,e^{-\frac{6t}{CR}} + \frac{1}{2}\,e^{-\frac{18t}{CR}}\right) - I\left[1 - \frac{3}{2}\,e^{-\frac{6(t-\tau)}{CR}} + \frac{1}{2}\,e^{-\frac{18(t-\tau)}{CR}}\right],$$

soit

$$i_2 = I\left[\frac{3}{2}\left(e^{\frac{6\tau}{CR}} - 1\right)e^{-\frac{6t}{CR}} - \frac{1}{2}\left(e^{\frac{18\tau}{CR}} - 1\right)e^{-\frac{18t}{CR}}\right].$$

L'époque T du maximum de i_2 s'obtiendra en annulant la dérivée $\frac{di_2}{dt}$. On trouve ainsi

$$T = \frac{CR}{12}\,L\left(\frac{e^{\frac{18\tau}{CR}} - 1}{e^{\frac{6\tau}{CR}} - 1}\right).$$

Quant à la valeur même du maximum M de l'intensité, elle est

$$M = I\,\frac{\left(e^{\frac{6\tau}{CR}} - 1\right)^{\frac{3}{2}}}{\left(e^{\frac{18\tau}{CR}} - 1\right)^{\frac{1}{2}}}.$$

L'époque T et le maximum M dépendent donc de la durée τ de l'émission. Mais si l'on suppose celle-ci assez courte (hypothèse que l'on fait pour les calculs semblables sur les longues lignes), on pourra écrire

$$T = \frac{CR}{12} L(3) = 0,09 \cdot CR, \qquad (T_2)$$

et

$$M = 2\sqrt{3}\, I \frac{\tau}{CR} = I \frac{3,5\tau}{CR}. \qquad (M_2)$$

L (3) désignant le logarithme népérien de 3. Pour une ligne réelle de même capacité totale C répartie tout le long du fil et de même résistance R, on trouve, d'après Thomson, environ

$$T = 3 \frac{CR}{\pi^2} L\left(\frac{4}{3}\right) = 0,09 \cdot CR.$$

Ainsi l'époque du maximum de courant au récepteur est indépendante de la valeur de τ, pourvu que τ soit assez petit, et son calcul pourra se faire avec une grande approximation en supposant la capacité totale de la ligne répartie en deux points au lieu d'être distribuée d'une manière continue. Les deux points doivent toutefois diviser la ligne en trois sections égales.

Quant à la valeur de M sur la ligne réelle, elle est environ

$$M = I \frac{2,6\tau}{CR}.$$

La valeur de M donnée par la formule (M_2) serait donc beaucoup moins approchée que celle de T donnée par la formule (T_2).

Il résulte des formules précédentes que si l'on considère deux émissions de courant de même durée τ, produites avec la même force E, la première sur une ligne réelle, la seconde sur une ligne factice comprenant deux condensateurs, le maximum de courant se produira dans les deux récepteurs à la même époque

si les valeurs de CR sont égales. En outre les valeurs maxima des courants seront égales pourvu que la résistance de la seconde ligne soit à celle de la première comme 3,5 est à 2,6.

Cas de trois condensateurs. — Avant d'aborder le cas général, considérons encore celui de trois condensateurs égaux divisant la ligne en quatre sections égales. On a $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \frac{1}{3}$, et $\nu_0 = \nu_1 = \nu_2 = \nu_3 = \frac{1}{4}$. Le système des équations (V) donne par intégration

$$i_3 = \mathrm{I}\left[1 - \frac{2+\sqrt{2}}{2} e^{-12(2-\sqrt{2})\frac{t}{\mathrm{CR}}} + e^{-24\frac{t}{\mathrm{CR}}} - \frac{2-\sqrt{2}}{2} e^{-12(2+\sqrt{2})\frac{t}{\mathrm{CR}}}\right],$$

soit $i_3 = \mathrm{I}\,\varphi\left(\frac{t}{\mathrm{CR}}\right)$. La durée de l'émission étant τ, après l'époque τ, on sait que l'on a

$$i_3 = \mathrm{I}\left[\varphi\left(\frac{t}{\mathrm{CR}}\right) - \varphi\left(\frac{t-\tau}{\mathrm{CR}}\right)\right],$$

ou

$$i_3 = \mathrm{I}\,\frac{\tau}{\mathrm{CR}}\,\varphi'\left(\frac{t}{\mathrm{CR}}\right),$$

si τ est suffisamment petit. En remplaçant $\varphi'\left(\frac{t}{\mathrm{CR}}\right)$ par son expression on trouve

$$i_3 = \mathrm{I}\,\frac{12\tau}{\mathrm{CR}}\left[e^{-12(2-\sqrt{2})\frac{t}{\mathrm{CR}}} - 2e^{-24\frac{t}{\mathrm{CR}}} + e^{-12(2+\sqrt{2})\frac{t}{\mathrm{CR}}}\right].$$

L'époque T du maximum du courant au récepteur et la valeur M de ce maximum se calculeront en annulant $\frac{di_3}{dt}$. On trouve ainsi :

$$\left(2-\sqrt{2}\right)e^{24\sqrt{2}\frac{t}{\mathrm{CR}}} - 4\,e^{12\sqrt{2}\frac{t}{\mathrm{CR}}} + \left(2+\sqrt{2}\right) = 0$$

équation du second degré en $e^{12\sqrt{2}\frac{t}{\mathrm{CR}}}$, dont les racines sont 1 et $\frac{2+\sqrt{2}}{2-\sqrt{2}}$. La première racine correspond à

$t=0$: la seconde, qui correspond à la solution cherchée, donne :

$$T=\frac{CR}{12\sqrt{2}}L\left(\frac{2+\sqrt{2}}{2-\sqrt{2}}\right).$$

En comparant la ligne réelle avec la ligne factice comprenant trois condensateurs, on trouvera une ressemblance beaucoup plus parfaite que dans le cas précédent de deux condensateurs.

Cas général. — Le système (V) étant composé de n équations différentielles linéaires à coefficients constants, on sait que la forme générale des fonctions $V_1, V_2, \ldots V_n$ est

$$V_k=E_k+a_k e^{\alpha\frac{t}{CR}}+b_k e^{\beta\frac{t}{CR}}+\ldots+l_k e^{\lambda\frac{t}{CR}}.$$

E_k étant la valeur finale du potentiel au point V_k; a_k, $b_k, \ldots l_k$ des coefficients dépendant de $\mu_1, \mu_2, \ldots \mu_n$, $\nu_0, \nu_1, \ldots \nu_n$, et dont la détermination importe peu ici; enfin $\alpha, \beta, \gamma, \ldots \lambda$ étant les n racines de l'équation caractéristique du système (V), qui s'écrit sous la forme d'un déterminant $\Delta_n=o$. Si l'on pose

$$\frac{1}{\nu_0}+\frac{1}{\nu_1}=\rho_1, \quad \ldots, \quad \frac{1}{\nu_{k-1}}+\frac{1}{\nu_k}=\rho_k, \quad \ldots,$$

on a

$$\Delta_n=\begin{vmatrix} \mu_1\alpha+\rho_1 & -\frac{1}{\nu_1} & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ -\frac{1}{\nu_1} & \mu_2\alpha+\rho_2 & -\frac{1}{\nu_2} & & & \vdots \\ 0 & -\frac{1}{\nu_2} & \mu_3\alpha+\rho_3 & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \ddots & -\frac{1}{\nu_{n-1}} \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & -\frac{1}{\nu_{n-1}} & \mu_n\alpha+\rho_n \end{vmatrix}=0.$$

Nous allons discuter et développer cette équation. Si l'on désigne par Δ_{n-1} le déterminant formé en enlevant dans Δ_n la n^e ligne et la n^e colonne, et qui est composé avec $\mu_1, \ldots \mu_{n-1}, \nu_0, \ldots \nu_{n-1}$ comme Δ_n l'est avec $\mu_1, \ldots \mu_n$, $\nu_0 \ldots \nu_n$; par Δ_{n-2} le déterminant formé en enlevant dans Δ_{n-1} la $(n-1)^e$ ligne et la $(n-1)^e$ colonne, etc., on a

$$\begin{aligned}
\Delta_n &= (\mu_n \alpha + \rho_n)\Delta_{n-1} - \frac{1}{\nu_{n-1}^2}\Delta_{n-2}, \\
\Delta_{n-1} &= (\mu_{n-1}\alpha + \rho_{n-1})\Delta_{n-2} - \frac{1}{\nu_{n-2}^2}\Delta_{n-3}, \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
\Delta_2 &= (\mu_2 \alpha + \rho_2)\Delta_1 - \frac{1}{\nu_1^2}, \\
\Delta_1 &= \mu_1 \alpha + \rho_1.
\end{aligned}$$

En discutant les polynomes $\Delta_1, \Delta_2, \ldots \Delta_n$ comme les polynomes de Sturm, on reconnaît très facilement que les racines de l'un quelconque d'entre eux sont réelles et séparées par celles du polynome précédent. — En second lieu, ces racines sont négatives. Il ne peut en être autrement, car la valeur de V_k deviendrait infinie avec le temps, ce qui est absurde. D'ailleurs le signe négatif des racines résulte de ce que dans le développement des polynomes $\Delta_1, \Delta_2, \ldots \Delta_n$, les coefficients des diverses puissances de α sont tous positifs. Ce développement, dont le calcul est facile mais prendrait trop de place ici, est pour le polynome Δ_n, le seul qui nous intéresse

$$\Delta) \left\{ \begin{aligned}
\nu_0 \nu_1 \ldots \nu_n \Delta_n = 1 &+ \alpha\, \Sigma \mu_h L_h (1 - L_h) \\
&+ \alpha^2 \Sigma \mu_h \mu_i L_h (L_i - L_h)(1 - L_i) \\
&+ \alpha^3 \Sigma \mu_h \mu_i \mu_j L_h (L_i - L_h)(L_j - L_i)(1 - L_j) \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&+ \alpha^n \mu_1 \mu_2 \ldots \mu_n \cdot \nu_0 \nu_1 \ldots \nu_n.
\end{aligned} \right.$$

L_h représentant la somme $\nu_0 + \nu_1 + \ldots \nu_{h-1}$, c'est-à-dire la résistance de la ligne comprise entre l'origine et le point V_h, divisée par la résistance totale R; $(1 - L_h)$ étant par conséquent la résistance de la section comprise au delà du point V_h, divisée par R; $\Sigma \mu_h L_h (1 - L_h)$ représentant la somme des produits de la forme $\mu_h L_h (1 - L_h)$ lorsqu'on prend successivement $h = 1$, $h = 2, \ldots h = n$; $\Sigma \mu_h \mu_i L_h (L_i - L_h)(1 - L_i)$ la somme de tous les produits semblables en donnant à h et à i toutes les valeurs entières possibles de 1 à n, etc.

La formation de l'équation (Δ) sera donc facile dès que l'on connaîtra $\mu_1, \mu_2, \ldots \nu_0, \nu_1, \ldots$, et l'on pourra faire le calcul des n racines $\alpha, \beta, \ldots \lambda$. Quant à celui des coefficients $a_k, b_k, \ldots l_k$ dans l'expression de V_k, il serait assez long par le procédé général, puisqu'il faudrait calculer simultanément tous les coefficients de $V_1, V_2, \ldots V_n$ pour avoir ceux de V_k seulement. Mais comme en réalité la seule chose qu'il importe de connaître est l'expression de l'intensité i_n dans le récepteur, nous allons procéder à son calcul, qui est relativement très simple, grâce à la remarque suivante :

Pour $t = 0$, on doit avoir $V_1 = V_2 = \ldots = V_n = 0$; ce que l'on exprimera en disant que $V_1, V_2, \ldots V_n$ contiennent t en facteur. En outre, comme toutes les équations (V), à partir de la seconde, sont de la forme : $\frac{V_{k-1} - V_k}{\nu_{k-1}} = \mu_k \frac{dV_k}{d\left(\frac{t}{CR}\right)} + \frac{V_k - V_{k+1}}{\nu_k}$, on voit que $\frac{dV_k}{dt}$ s'annule aussi pour $t = 0$; par suite $V_2, V_3, \ldots V_n$ contiennent t^2 en facteur. La même équation montre que pour $k > 2$, $\frac{dV_k}{dt}$ contient t^2 en facteur; donc $V_3, V_4, \ldots$

V_n contiennent eux-mêmes t^3 en facteur, et ainsi de suite. On en concluera que V_n contient t^n en facteur, ou en d'autres termes que V_n s'annule ainsi que ses $(n-1)$ premières dérivées pour $t=0$. Il en est de même pour i_n puisque $i_n = \frac{V_n}{R_n}$.

Nous écrirons i_n sous la forme

$$i_n = I\left(1 + Ae^{\alpha\frac{t}{CR}} + Be^{\beta\frac{t}{CR}} + \ldots + Le^{\lambda\frac{t}{CR}}\right),$$

I désignant l'intensité du courant dans le régime permanent. Les conditions : $i_n = 0$, $\frac{di_n}{dt} = 0, \ldots \frac{d^{n-1}i_n}{dt^{n-1}} = 0$ pour $t = o$ donnent

$$A + B + \ldots + L = -1,$$

ou

De même

$$\left.\begin{aligned} \Sigma A &= -1, \\ \Sigma A\alpha &= 0, \\ \Sigma A\alpha^2 &= 0, \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ \Sigma A\alpha^{n-1} &= 0. \end{aligned}\right\} \qquad \text{(A)}$$

De ces n équations du 1er degré en A, B,... L on tirera facilement les valeurs de ces coefficients.

Le problème de la détermination de i_n sera donc résolu lorsqu'on aura résolu l'équation caractéristique (Δ) et le système (A). — Les coefficients A, B,... L jouissent de propriétés que nous exprimerons ici, sans en développer la démonstration, au moyen des deux séries suivantes de formules

$$\left.\begin{aligned}
&\sum \frac{A}{\alpha} = -\sum \frac{1}{\alpha},\\
&\sum \frac{A}{\alpha^2} = -\sum \frac{1}{\alpha\beta},\\
&\sum \frac{A}{\alpha^3} = -\sum \frac{1}{\alpha\beta\gamma},\\
&\vdots
\end{aligned}\right\} \qquad (A')$$

$$\left.\begin{aligned}
&\Sigma A \alpha^n = \alpha\beta\gamma\ldots\lambda,\\
&\Sigma A \alpha^{n+1} = \alpha\beta\gamma\ldots\lambda\Sigma\alpha,\\
&\Sigma A \alpha^{n+2} = \alpha\beta\gamma\ldots\lambda\Sigma\alpha\beta,\\
&\vdots
\end{aligned}\right\} \qquad (A'')$$

$\Sigma\alpha$, $\Sigma\alpha\beta$, $\Sigma\alpha\beta\gamma,\ldots \sum \frac{1}{\alpha}, \sum \frac{1}{\alpha\beta},\ldots$ représentant la somme des racines de l'équation (Δ), la somme de leurs produits 2 à 2, 3 à 3,... ou la somme de leurs inverses, des produits de ces inverses 2 à 2, 3 à 3, etc., la même racine pouvant entrer plusieurs fois comme facteur dans un produit. Or, les seconds membres des formules (A′) et (A″) sont connus en fonction des coefficients de l'équation (Δ). On a en particulier

$$\begin{aligned}
&\sum \frac{1}{\alpha} = -\Sigma \mu_h L_h (1 - L_h),\\
&\sum \frac{1}{\alpha\beta} = [\Sigma \mu_h L_h (1 - L_h)]^2 - \Sigma \mu_h \mu_i L_h (L_i - L_h)(1 - L_i),\\
&\vdots\\
&\alpha\beta\gamma\ldots\lambda = \frac{1}{\mu_1 \mu_2 \ldots \mu_n \nu_0 \nu_1 \ldots \nu_n},\\
&\Sigma\alpha = \sum \frac{\rho}{\mu},\\
&\vdots
\end{aligned}$$

Si l'on veut, par exemple, développer i_n suivant les puissances de $\frac{t}{CR}$, on aura en développant chacune

des exponentielles $e^{\alpha \frac{t}{CR}}$, $e^{\beta \frac{t}{CR}}$,...

$$i_n = I\left[1 + \Sigma A + \left(\frac{t}{CR}\right)\Sigma A\alpha + \ldots + \frac{\left(\frac{t}{CR}\right)^n}{1.2\ldots n}\Sigma A\alpha^n + \frac{\left(\frac{t}{CR}\right)^{n+1}}{1.2\ldots(n+1)}\Sigma A\alpha^{n+1} + \ldots\right]$$

$$= I\,\frac{\alpha\beta\gamma\ldots\lambda}{1.2\ldots n}\left(\frac{t}{CR}\right)^n\left[1 + \frac{\Sigma\alpha}{n+1}\left(\frac{t}{CR}\right) + \frac{\Sigma\alpha\beta}{(n+1)(n+2)}\left(\frac{t}{CR}\right)^2 + \ldots\right],$$

ou enfin

$$i_n = \frac{I}{\mu_1\ldots\mu_n\nu_0\ldots\nu_n\cdot 1\cdot 2\ldots n}\cdot\left(\frac{t}{CR}\right)^n\left(1 + \frac{1}{n+1}\cdot\frac{t}{CR}\cdot\sum\frac{\rho}{\mu} + \ldots\right).$$

et l'on a l'avantage de connaître ainsi l'expression de i_n sans avoir besoin de résoudre ni l'équation (Δ) ni le système (A). Tous les coefficients en effet son connus, et cette forme de i_n pourra être très utile si la série qui est dans le second membre converge rapidement; il suffira alors de se borner aux premiers termes. Il en sera ainsi si n est égal à 2 ou à 3 par exemple, et si $\left(\frac{t}{CR}\right)$ est assez faible. — Si au contraire n est très grand, l'emploi de cette série, qui serait très lentement convergente, n'offrirait plus d'intérêt.

On pourrait se proposer : 1° de calculer en général l'époque T du maximum M de courant dans le récepteur pour une émission de durée τ; 2° de rechercher quel est l'arrangement des n condensateurs sur la ligne qui est le plus défavorable pour la transmission. Nous n'examinerons pas ces questions ici.

Nous signalerons de même, sans la traiter, l'application des formules précédentes au cas où la ligne est coupée par un condensateur placé entre le fil et le récepteur. On fera $R_n = \infty$ et l'on calculera $C_n \frac{dV_n}{dt}$, qui représente le courant traversant le récepteur. —

M. Hockin a donné une solution de ce problème en 1876 dans le *Journal of the Society of telegraph engineers.*

Cas où la capacité de la ligne est répartie d'une manière uniforme et discontinue. — Si les n condensateurs sont égaux et divisent la ligne en $(n+1)$ sections égales, on a

$$\nu_0 = \nu_1 = \ldots = \nu_n = \frac{1}{n+1},$$

$$\mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_n = \frac{1}{n},$$

et l'équation (Δ) devient

$$1 + \frac{n+2}{n+1} \cdot \frac{\alpha}{1.2.3} + \frac{(n-1)(n+2)(n+3)}{n(n+1)^2} \cdot \frac{\alpha^2}{1.2.3.4.5}$$
$$+ \frac{(n-2)(n-1)(n+2)(n+3)(n+4)}{n^2(n+1)^3} \cdot \frac{\alpha^3}{1.2.3.4.5.6.7} + \ldots = 0.$$

Cette équation sera très facile à résoudre pour $n = 2, 3, 4, 5$, si l'on remarque que la valeur moyenne des racines est $-2n(n+1)$ et que les excès des valeurs des n racines sur cette moyenne sont deux à deux égaux et de signes contraires; cela est évident si on laisse l'équation (Δ) sous la forme de déterminant. — Quant aux valeurs de $\sum \frac{1}{\alpha}, \ldots$ elles sont

$$\sum \frac{1}{\alpha} = -\frac{n+2}{n+1} \cdot \frac{1}{1.2.3},$$

$$\sum \frac{1}{\alpha\beta} = \frac{(n+2)(7n^2+14n+9)}{360\, n(n+1)^2}.$$

$$\vdots$$

Lorsque n devient infini, on a le cas d'une ligne réelle à capacité continue. On sait qu'alors la valeur de i_n calculée en intégrant l'équation

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{CR}{l^2} \cdot \frac{\partial V}{\partial t},$$

où l désigne la longueur de la ligne, est la suivante

$$i_n = \mathrm{I}\left[1-2\left(e^{-\frac{\pi^2 t}{\mathrm{CR}}}-e^{-\frac{4\pi^2 t}{\mathrm{CR}}}+e^{-\frac{9\pi^2 t}{\mathrm{CR}}}-\dots\right)\right].$$

On doit donc retrouver cette formule en faisant $n=\infty$. Or l'équation (Δ) se réduit à

$$1+\frac{\alpha}{1.2.3}+\frac{\alpha^2}{1.2.3.4.5}+\frac{\alpha^3}{1.2.3.4.5.6.7}+\dots=0,$$

c'est-à-dire à : $\frac{1}{\sqrt{-\alpha}}$. *Sin* $\sqrt{-\alpha}=0$, qui donne comme racines $\sqrt{-\alpha}=\pm h\pi$, d'où $\alpha=-h^2\pi^2$. Les valeurs de $\alpha,\beta,\gamma,\dots$ sont donc bien celles que l'on devait trouver, savoir $-\pi^2,-4\pi^2,-9\pi^2,\dots$ Nous ne pousserons pas plus loin la vérification en calculant les coefficients A, B, C, ...

Remarquons seulement que l'on a

$$\sum\frac{1}{\alpha}=-\frac{1}{6},$$
$$\sum\frac{1}{\alpha\beta}=\frac{7}{360},$$
$$\sum\frac{1}{\alpha\beta\gamma}=-\frac{31}{15120},$$
$$\vdots$$

ces quantités vont en décroissant très rapidement. Les valeurs du produit $\alpha\beta\gamma\dots$ et des sommes $\Sigma\alpha,\Sigma\alpha\beta,\dots$ sont au contraire infinies en même temps que n.

Induction provenant des fils voisins. — Nous allons calculer l'intensité dans l'appareil récepteur des courants induits provenant de la transmission sur un fil voisin. L'induction consiste dans le développement, sur chacune des sections de la ligne voisines du second fil, d'une force électromotrice proportionnelle à la dérivée de l'intensité du courant parcourant ce dernier.

Soit e_k la force induite sur la section $V_k V_{k+1}$. Pour calculer l'intensité dans le récepteur due à cette force e_k on n'aura qu'à reprendre le système des équations (V) dans lequel on supposera la force électromotrice située dans la $(K+1)^e$ section au lieu de l'être dans la première. On aura ainsi une valeur de l'intensité égale a $\frac{e_k}{R}\varphi_k\left(\frac{t}{CR}\right)$, la forme de la fonction φ_k variant avec la position de la section considérée. Si la force e_k s'est développée seulement à l'époque u, l'intensité sera $\frac{e_k}{R}\varphi_k\left(\frac{t-u}{CR}\right)$, et enfin si elle n'a duré qu'un temps infiniment court du, l'intensité sera $\frac{e}{R}\cdot\frac{du}{CR}\varphi'_k\left(\frac{t-u}{CR}\right)$. Comme e_k varie à chaque instant, l'effet total sera la somme des effets dus à e_k pendant chaque instant du, depuis l'origine jusqu'à l'instant actuel t, c'est-à-dire $\int_0^t \frac{e_k}{R}\cdot\frac{du}{CR}\varphi'_k\left(\frac{t-u}{CR}\right)$.

Enfin, les effets des forces d'induction produites sur les diverses sections de la ligne s'ajoutant, on aura au récepteur

$$i=\sum_{k=1}^{k=n}\int_0^t \frac{e_k}{R}\cdot\frac{du}{CR}\varphi'\left(\frac{t-u}{CR}\right).$$

Quant à l'expression de e_k à l'époque u, c'est $e_k = M_k\frac{dI_k}{du}$, I_k désignant l'intensité du courant sur la partie du fil voisin qui longe la section $V_k V_{k+1}$ et M_k le coefficient d'induction du fil voisin sur cette section. Or c et r désignant la capacité et la résistance totale du second fil, I l'intensité qui le parcourrait dans l'état permanent, pour une émission de durée τ

I_k sera de la forme $I\Psi_k\left(\frac{u}{cr}\right)$ si $u < \tau$, c'est-à-dire pendant l'émission du courant; après l'époque τ, I_k sera égal à $I\left[\Psi_k\left(\frac{u}{cr}\right) - \Psi_k\left(\frac{u-\tau}{cr}\right)\right]$. Donc en posant $M_k = \sigma_k M$, M étant le coefficient d'induction du second fil tout entier sur le premier, on aura pendant la première période, où $u < \tau$

$$e_k = M\sigma_k \cdot \frac{I}{cr}\Psi'_k\left(\frac{u}{cr}\right),$$

et pendant la seconde période, où $u > \tau$

$$e = M\sigma_k \cdot \frac{I}{cr}\left[\Psi'_k\left(\frac{u}{cr}\right) - \Psi'_k\left(\frac{u-\tau}{cr}\right)\right].$$

On aura ainsi sous le signe $\int$ dans l'expression de i la fonction φ_k qui dépend des valeurs de $\mu_1, \mu_2, \ldots. \mu_n$, $\nu_0, \nu_1, \ldots \nu_n$ sur la ligne; la fonction Ψ_k qui dépend des valeurs analogues pour le fil voisin, et σ_k qui dépend de la position de la section $V_k V_{k+1}$ par rapport au fil voisin. Sans effectuer l'intégration, on voit, en prenant comme variable sous le signe $\int \frac{u}{cr}$, dont les valeurs limites seront o et $\frac{t}{cr}$, que i est de la forme

$$i = \frac{MI}{CR^2} \cdot \sum_{k=1}^{k=n} f_k\left(\frac{t}{cr}, \quad \frac{\tau}{cr}, \quad \frac{cr}{CR}\right),$$

la fonction f_k étant le résultat de l'intégration, ou encore

$$i = \frac{MI}{CR^2} \cdot F\left(\frac{t}{cr}, \quad \frac{\tau}{cr}, \quad \frac{cr}{CR}\right).$$

Pour se rendre compte de l'effet nuisible de l'induction, il faut connaître la nature de l'appareil récepteur et savoir si cet effet nuisible est représenté par la

valeur maximum du courant induit i, ou bien par $\int i\,dt$ ou encore par $\int i^2 dt$. Il est nécessaire d'être fixé à ce sujet pour discuter la formule précédente. Nous supposerons ici, pour simplifier, qu'il s'agisse du maximum $\mathcal{M}$ de i. On calculera ce maximum en posant $\frac{dF}{dt} = 0$, ce qui donnera

$$\mathcal{M} = \frac{MI}{CR^2} \cdot \Phi\left(\frac{\tau}{cr}, \frac{cr}{CR}\right).$$

La valeur de $\mathcal{M}$ et, par suite l'effet de l'induction dépendent donc non seulement de la distribution des capacités C et c le long des deux circuits, mais encore des valeurs relatives de cr et de CR et en outre de la durée de l'émission τ comparée à cr.

Cette formule peut être simplifiée pour les indications à en déduire dans la pratique. Si τ était nul, $\mathcal{M}$ serait nul également. Donc si $\frac{\tau}{cr}$ est assez petit, $\mathcal{M}$ peut être considéré comme proportionnel à $\frac{\tau}{cr}$, et l'on aura

$$\mathcal{M} = \frac{MI}{CR^2} \cdot K' \frac{\tau}{cr}.$$

K dépendant du rapport $\frac{cr}{CR}$ mais non de τ. Si au contraire $\frac{\tau}{cr}$ est assez grand, l'intensité du courant sur le fil voisin atteindra sa valeur finale de régime permanent; et lors même que l'on augmenterait la durée τ, cette intensité ne s'accroîtrait plus; donc sa dérivée serait nulle et, par suite, l'induction sur le premier fil ne serait elle-même pas augmentée. Cela revient à dire que si τ est assez grand, $\mathcal{M}$ atteint une valeur

maximum indépendante de τ et que l'on écrira

$$\mathfrak{M} = \frac{MI}{CR^2}\cdot K,$$

K dépendant, comme K′, de $\frac{cr}{CR}$. Entre ces deux cas extrêmes, $\mathfrak{M}$ est compris entre $\frac{MI}{CR^2}$. K, qui est un maximum, et $\frac{MI}{CR^2}$. $K'\frac{\tau}{cr}$, qui est un minimum. Si l'on veut prévoir quelle est l'induction *possible* du second fil sur le premier pendant les transmissions, il faut s'en tenir à la formule la plus défavorable :

$$\mathfrak{M} = \frac{MI}{CR^2}\cdot K,$$

qui montre que, toutes choses égales d'ailleurs, le courant induit est proportionnel à l'intensité des courants émis sur le fil voisin, au coefficient M d'induction mutuelle des deux fils, et inversement proportionnel au produit CR^2. Ce dernier facteur CR^2 est lui-même proportionnel au cube de la longueur du fil induit, lorsque la capacité et la résistance spécifique restent constantes. — Quant au coefficient K, il variera suivant les cas et ne pourra être regardé comme constant que si la disposition des deux fils voisins et leur situation relative sont toujours les mêmes.

Si l'on a étudié expérimentalement l'induction entre deux fils, on pourra prévoir quelle sera l'intensité de l'induction sur deux autres fils situés dans un cas semblable. Il suffira, en effet, pour comparer les valeurs de $\mathfrak{M}$ dans ces deux cas, de comparer les valeurs de M, I, C et R. Les quantités I, C et R se déterminent par des procédés connus. Quant à la détermination de M, elle peut également se faire d'une

manière très simple en valeur absolue. A cet effet, un galvanomètre étant intercalé sur l'un des deux fils, le premier, par exemple, on enverra sur le second un courant d'intensité connue I, qu'on maintiendra jusqu'à ce que l'on ait lu au galvanomètre l'impulsion de l'aiguille. Cette impulsion fera connaître la quantité $\int i dt$ d'électricité induite par le courant I sur le premier fil et qui aura traversé le galvanomètre. Le coefficient M sera donné par la formule

$$M = \frac{R \int i dt}{I}.$$

En effet, la force électromotrice induite dans la section $V_k V_{k+1}$ étant $M_k \frac{dI_k}{dt}$, ainsi que nous l'avons vu, l'intensité i_k dans cette section est

$$i_k = \frac{V_k - V_{k+1} + M_k \frac{dI_k}{dt}}{R_k},$$

En intégrant cette équation pendant la durée du courant induit, on aura

$$\int i_k dt = \frac{\int V_k dt - \int V_{k+1} dt + M_k I}{R_k},$$

puisque $\int \frac{dI_k}{dt} dt = I =$ intensité finale du courant inducteur. Mais lorsque l'induction a cessé, le premier fil est revenu à l'état neutre; les condensateurs C_1, C_2,... ne retiennent aucune quantité d'électricité. Il en résulte que les valeurs des quantités $\int i_1 dt$, $\int i_2 dt$,... qui ont traversé les diverses sections de la ligne sont

toutes égales à $\int idt$. Donc on peut écrire

$$\int idt = \frac{-\int V_1 dt + M_0 I}{R_0} = \frac{\int V_1 dt - \int V_2 dt + M_1 I}{R_1} = \dots$$
$$= \frac{\int V_n dt + M_n I}{R_n}.$$

En ajoutant les numérateurs entre eux et de même les dénominateurs, on aura

$$\int idt = \frac{I \Sigma M_k}{\Sigma R_k}.$$

Mais $\Sigma R_k = R =$ résistance totale du premier fil, et $\Sigma M_k = M$. Il en résulte bien $M = \frac{R \int idt}{I}$.

Influence de l'appareil récepteur sur le régime du courant. — L'appareil récepteur apporte, par son fonctionnement même dans le régime du courant, une perturbation dont nous n'avons pas tenu compte jusqu'ici. Nous supposerons, pour fixer les idées, que ce soit un électroaimant. Si L désigne son coefficient d'induction sur lui-même, la variation du courant i_n détermine une force électromotrice antagoniste égale à $L \frac{di_n}{dt}$. En outre, si $d\mathfrak{T}$ est le travail de l'appareil pendant le temps dt, il y aura développement d'une seconde force antagoniste égale à : $\frac{d\mathfrak{T}}{i_n dt}$. Nous ferons abstraction de cette dernière pour voir seulement comment la première peut modifier les résultats trouvés jusqu'ici.

Les équations (V) subsistent toujours, sauf la dernière, qui s'écrira

$$\frac{V_{n-1} - V_n}{v_{n-1}} = \mu_n \frac{dV_n}{d\left(\frac{t}{CR}\right)} + R i_n,$$

avec la condition

$$R i_n = \frac{1}{\nu_n}\left(V_n - L\,\frac{di_n}{dt}\right),$$

ou

$$R i_n = \frac{1}{\nu_n}\left[V_n - \frac{L}{CR^2}\cdot\frac{d(R i_n)}{d\left(\frac{t}{CR}\right)}\right].$$

Si L est assez faible, c'est-à-dire si l'électroaimant n'est pas assez puissant pour apporter une perturbation notable, on aura à peu près, en remplaçant dans le second membre de la dernière formule Ri_n par sa valeur approximative $\frac{V_n}{\nu_n}$

$$R i_n = \frac{1}{\nu_n}\left[V_n - \frac{1}{\nu_n}\cdot\frac{L}{CR^2}\cdot\frac{dV_n}{d\left(\frac{t}{CR}\right)}\right],$$

d'où

$$\frac{V_{n-1} - V_n}{\nu_{n-1}} = \left(\mu_n - \frac{1}{\nu_n^2}\cdot\frac{L}{CR^2}\right)\frac{dV_n}{d\left(\frac{t}{CR}\right)} + \frac{V_n}{\nu_n}.$$

Telle est la dernière des équations (V) modifiée. On voit que tout se passera sensiblement pour la distribution des potentiels comme si l'électroaimant n'introduisait dans le circuit que sa résistance, son effet d'induction étant remplacé par une diminution de la capacité C_n du dernier condensateur dans la proportion $\frac{1}{\mu_n.\nu_n^2}\cdot\frac{L}{CR^2}$.

La capacité apparente C_n étant diminuée, les potentiels, notamment V_n, croîtront plus rapidement. L'accroissement de i_n sera au contraire plus lent; c'est-à-dire que la présence du récepteur a pour effet de ralentir le courant comme si la ligne était plus longue.

Nous savons que les calculs faits en supposant une répartition de la capacité de la ligne en deux points au lieu d'une répartition continue sont très approchés. Si par exemple on a $C = 80^{mf} = 0^{f},00008$ et $R = 3000$ ohms (ligne souterraine de 400 kilomètres) avec $L = 10$; si en outre on suppose $\mu_1 = \mu_2 = \frac{1}{2}$ et $\nu_0 = \nu_1 = \nu_2 = \frac{1}{3}$, on trouve $\frac{1}{\mu_2 \nu_2^2} \cdot \frac{L}{CR^2} = \frac{1}{4}$. On pourra donc traiter le problème, pour le calcul de V_2, comme si l'on avait au tiers de la ligne la capacité $\frac{C}{2} = 40^{mf}$, et aux deux tiers la capacité $\frac{C}{2}$ diminuée dans la proportion de $\frac{1}{4}$, soit 30^{mf}. Ensuite pour le calcul de i_2, on emploiera la formule

$$Ri_2 = \frac{1}{\nu_2}\left[V_2 - \frac{1}{\nu_2} \cdot \frac{L}{CR^2} \cdot \frac{dV_2}{d\left(\frac{t}{CR}\right)}\right],$$

ou

$$i_2 = \frac{1}{1000}\left[V_2 - \frac{1}{100}\frac{dV_2}{dt}\right].$$

Si L avait une valeur trop grande, les calculs précédents ne donneraient plus la même approximation; mais on pourrait toujours résoudre exactement le système des équations (V) en tenant compte de la force électromotrice contraire $L\frac{di_n}{dt}$.

La forme même des deux équations qui doivent remplacer la dernière des équations (V), savoir

$$\frac{V_{n-1} - V_n}{\nu_{n-1}} = \mu_n \frac{dV_n}{d\left(\frac{t}{CR}\right)} + Ri_n;$$

$$Ri_n = \frac{1}{\nu_n}\left[V_n - \frac{L}{CR^2}\cdot\frac{d(Ri_n)}{d\left(\frac{t}{CR}\right)}\right],$$

montre que i_n sera encore de la forme

$$i_n = \mathrm{I} f_n\left(\frac{t}{CR}\right),$$

la forme de la fonction f_n dépendant, non plus seulement de $\mu_1, \mu_2 \ldots \mu_n, \nu_0, \nu_1 \ldots \nu_n$, mais encore de $\frac{L}{CR^2}$. Par conséquent, pourvu que L soit proportionnel à CR^2, c'est-à-dire au cube de la longueur de la ligne, la fonction f_n ne changera pas avec cette longueur.

Nous n'avons pas tenu compte, dans les calculs précédents, des pertes de courant le long des lignes. Leur influence a été étudiée par divers auteurs et exposée notamment dans les *Annales télégraphiques*.

En résumé on voit comment, étant donnée une ligne quelconque, on peut calculer, au moins approximativement : d'une part l'effet utile des courants destinés à produire les signaux, en tenant compte de l'influence du récepteur; d'autre part l'effet nuisible des courants induits par les transmissions sur les fils voisins. Nous nous proposons de reprendre les mêmes questions au point de vue des transmissions téléphoniques.

VASCHY.

BALANCE MAGNÉTIQUE

ET RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

FAITES A L'AIDE DE CET INSTRUMENT

PAR LE PROFESSEUR HUGHES.

(Traduction.)

Dans un mémoire récent sur « la régidité moléculaire de l'acier trempé », j'ai exposé une théorie d'après laquelle les molécules de fer doux seraient comparativement libres, quant à leur mouvement, les unes par rapport aux autres, tandis que dans le fer dur ou l'acier les molécules seraient très fortement maintenues dans leurs positions relatives.

J'ai, depuis lors, étendu le champ de mes recherches, et j'ai observé les effets de la compression et des déformations mécaniques, de même que ceux du recuit et de la trempe, sur la capacité magnétique de soixante variétés de fer et d'acier allant du fer de Suède le plus doux à l'acier fondu trempé le plus dur.

Nous savons déjà que le fer doux prend un magnétisme temporaire plus grand que l'acier et que l'acier trempé garde mieux le magnétisme que le fer doux : dès lors, nous devions supposer qu'à l'aide d'un instrument de mesure exact, nous pourrions renfermer

toutes les variétés de fer et d'acier dans les deux limites extrêmes de la douceur (fer recuit), et de la dureté (acier fondu trempé très sec). On reconnut pourtant l'inexactitude de cette proposition, dans le cas où les échantillons de fer et d'acier ne subissent pas tous un recuit-type absolument le même, et lorsque l'aimantation va jusqu'à la saturation ou s'en approche.

Dans un précédent mémoire sur la théorie du magnétisme (*), je disais :

« Au cours de ces recherches, j'ai remarqué une propriété particulière du magnétisme, à savoir que non seulement les molécules peuvent tourner d'un angle quelconque jusqu'à un maximum, c'est-à-dire jusqu'à saturation, mais qu'en outre, tandis qu'il est besoin d'une force relativement considérable pour vaincre la régidité de la molécule ou sa résistance à la rotation, elle a en propre un petit champ dans lequel elle peut avec une grande liberté se mouvoir, s'ébranler, vibrer ou tourner d'un petit angle, et cela à l'aide d'une force infiniment moindre que celle qu'il faudrait pour la faire tourner complètement d'une façon permanente d'un côté ou de l'autre. Cette propriété est si marquée et si générale qu'on la peut observer sans fer spécial et sans appareil particulier. »

Pour observer ce phénomène dans les électroaimants, il faut employer un courant extrêmement faible comme celui d'un élément Daniell, avec une résistance extérieure de 10 à 1.000 ohms ; on trouve alors les lois suivantes pour chaque variété de fer et d'acier :

(*) *Société des ingénieurs télégraphiques*, 24 mai 1883. — V. *Annales télégraphiques*, 1883, p. 242 et 385.

1° La capacité magnétique est proportionnelle à la douceur ou à la liberté moléculaire.

2° La résistance à une force magnétisante extérieure faible est proportionnelle à la dureté ou à la rigidité moléculaire.

Ce fut le résultat trouvé pour soixante variétés de fer et d'acier qui me furent directement fournies par les fabricants, et l'on remarqua que pour chaque variété de fer ou d'acier, un certain point existait au delà duquel le recuit ne pouvait adoucir, et un autre au-dessus duquel la trempe ne pouvait augmenter la dureté ; par suite, si toutes les variétés étaient également et parfaitement recuites, chaque variété aurait sa capacité magnétique propre, ou, après recuit parfait ou trempe parfaite, sa valeur spécifique nous permettant de suite de déterminer son rang et sa qualité.

Si au lieu de plusieurs variétés nous prenons un seul échantillon, par exemple du fil de fer de Suède écroui, et si nous notons sa capacité magnétique, nous trouvons que sa valeur croît rapidement à chaque recuit partiel jusqu'à un dernier degré de douceur, lequel constitue la limite de sa liberté moléculaire. Nous sommes donc à même d'étudier les meilleures méthodes pour recuire et de trouver du premier coup le degré de douceur d'un échantillon inconnu. Un effet analogue se présente quand on observe la trempe ; de la trempe la plus douce à la plus dure, jusqu'à ce qu'on atteigne le terme de la rigidité moléculaire.

Nous avons donc dans chaque morceau de fer ou d'acier une limite de douceur et une limite de dureté. Dans le fer doux de Suède, la trempe ne donne qu'un durcissement de 25 p. 100, tandis que la compression mécanique (le martelage par exemple), le durcit de

50 p. 100. La trempe durcit l'acier trempé de 400 p. 100 tandis que la compression mécanique ne donne que 50 p. 100.

Entre l'acier fondu et le fer doux de Suède, nous trouvons une longue série d'acier doux et de fer dur, dont le degré proportionnel varie entre les deux extrêmes indiqués.

Pour procéder à ces recherches, je construisis un instrument que j'ai appelé la balance magnétique. Il consiste en une aiguille aimantée suspendue à un fil fin de soie; elle a 5 centimètres de long; près de son index se trouve un repère portant une seule ligne ou marque noire donnant le zéro : le mouvement de l'aiguille de part et d'autre du zéro est limité à 5 millimètres à l'aide de deux arrêts ou butoirs d'ivoire. Quand l'extrémité nord de l'aiguille et son repère sont placés nord, l'aiguille reste au zéro, mais la plus faible influence extérieure, comme celle d'un morceau de fer de 1 millimètre de diamètre à une distance de 10 centimètres dévie l'aiguille à droite ou à gauche suivant la polarité de son magnétisme et avec une force proportionnelle à sa puissance. Si nous plaçons du côté opposé de l'aiguille à la même distance, un fil de même polarité et de même force, les deux fils sont équivalents comme effet et l'aiguille revient à zéro; si nous connaissons la valeur magnétique nécessaire pour produire l'équilibre, nous connaissons la valeur des deux. Pour équilibrer un fil ou un morceau de fer placé est-ouest, on emploie un compensateur magnétique consistant en un barreau aimanté puissant pouvant tourner autour d'un point central et placé à une distance de 30 centimètres ou plus, de façon qu'on puisse obtenir des observations précises. Ce barreau tourne au-des-

sus d'un cadran dont la graduation correspond à des degrés égaux d'action magnétique sur l'aiguille.

Une bobine de fil isolé, à travers laquelle passe un faible courant électrique, aimante le morceau de fer en expérience, mais comme la bobine elle-même agirait sur l'aiguille, son action est contrebalancée par une bobine égale et opposée placée de l'autre côté : nous pouvons de la sorte observer le magnétisme dû au fer seul. On a besoin d'une clef d'inversion, de bobines de résistance et d'un élément Daniell. Il faut prendre grand soin que la force électromotrice reste constante, car une faible variation de la force électromotrice produit d'importantes variations dans les lectures ; il y a beautoup de détails de construction importants pour une parfaite lecture avec une force magnétique extrêmement faible. Il faut apporter un soin plus grand encore à ce que chaque échantillon de fer ou d'acier soit recuit au maximum.

On a fait avec la balance magnétique usage de plusieurs méthodes d'observation ; la méthode habituelle a été celle qu'on vient de décrire ; mais on obtient des résultats intéressants en observant l'influence sur le fer ou l'acier du magnétisme terrestre seul : nous pouvons encore aimanter tous les échantillons également et noter l'intensité de courant nécessaire. Nous pouvons observer le magnétisme rémanent après cessation du courant ou l'influence d'un courant faible après le passage d'une force magnétisante énergique. Ceci est plutôt applicable à des recherches sur la cause du magnétisme.

Au moyen de cet instrument, j'ai examiné soixante sortes de fer et d'acier, la plupart du temps sous forme de fil ; le type était un fil d'un millimètre de diamètre

et 10 centimètres de long. Dans toutes les expériences comparatives, on a besoin d'une forme type à laquelle tout le reste doit être semblable comme forme et dimensions : dans le cas présent, nous ne pouvons sans inconvénient comparer un barreau carré ou aplati à un morceau de fil, mais si tous les morceaux ont la même forme et sont tous recuits au même point, toute différence de l'un à l'autre doit provenir de leur douceur relative, d'où nous pouvons déduire la qualité de l'échantillon et sa place sur l'échelle qui va du fer doux à l'acier fondu.

Le recuit n'amène pas seulement de la douceur, et par conséquent la liberté des molécules ; il enlève encore toute trace des déformations précédemment produites par l'étirage ou le martelage. Un barreau de fer étiré ou martelé a une structure particulière, fibreuse, qui donne une résistance mécanique plus grande dans une direction que dans une autre. Ce barreau, parfaitement recuit à haute température, devient homogène et ne garde même plus trace des déformations antérieures, pourvu qu'il n'y ait point eu séparation mécanique effective en séries distinctes de fibres.

TABLE I

Influence du recuit sur le fer de Suède (échantillon G).

	Degrés de douceur indiqués sur la balance magnétique.
Fil écroui tel qu'il est fourni par les fabricants	230°
Recuit à la chaleur sombre	255°
— au rouge naissant	329°
— au rouge vif	438°
— au jaune	507°
— au jaune blanc	525°

La table ci-dessus montre qu'il y a accroissement

régulier de douceur pour une élévation de la température de recuit, le maximum existant pour température inférieure au point de fusion.

On a essayé de nombreuses méthodes pour recuire ; les résultats les plus parfaits ont été obtenus, quand le fer et l'acier ont été portés aussi vite que possible à une haute température et refroidis dans un milieu neutre ou dans l'atmosphère. Les faits relatifs au recuit mis en lumière par la mesure de la capacité magnétique ont, sans doute, été en grande partie constatés par les méthodes mécaniques ordinaires ; quant aux résultats de mes recherches, ils peuvent se formuler comme suit :

1. Le degré le plus élevé de douceur pour une variété quelconque de fer ou d'acier est celui qu'on obtient par un échauffement rapide à la température la plus élevée inférieure au point de fusion.

2. Le temps nécessaire pour le refroidissement graduel varie comme la proportion de carbone allié.

Par suite, pour le fer chimiquement pur, le refroidissement rapide comme celui de la trempe, n'amènera pas de durcissement, tandis que l'acier pourra demander plusieurs jours, même pour des morceaux d'un millimètre seulement de diamètre. Un refroidissement lent n'a pas d'effet nuisible sur le fer pur quand il s'opère dans un milieu neutre ; quand donc on n'a pas à se préoccuper du temps, on peut employer un refroidissement lent dans tous les cas.

Un fil ou un morceau de fer complètement recuit ne doit pas être courbé, tendu, martelé ou limé, car les effets durcissants d'une flexion sont très notables, et le simple nettoyage de la surface à l'aide de papier de verre la durcit de plusieurs degrés.

La table suivante montre l'effet du recuit sur une série de fils qui m'ont été obligeamment fournis en vue de ces expériences mêmes par MM. Frédéric Smith et C[e] de Halifax :

TABLE II

MARQUE.		CAPACITÉ magnétique. Clair.	Recuit.
G	Fer supérieur de Suède au bois, 1[er] échantillon	230	525
F	— — 2[e] échantillon	236	510
T	— — 3[e] échantillon.	275	503
S	Fer de Suède, Martin-Siemens.	165	430
H	Fer puddlé, best best	212	340
Y'	Acier Bessemer doux	150	291
Y	Acier Bessemer dur	115	172
Z	Acier fin fondu au creuset.	50	84

La série ci-dessus renferme des fers et de l'acier qui représentent toutes les classes : toutes les autres variétés essayées jusqu'ici sont comprises entre l'acier fondu et le fer de Suède, et classées généralement en acier fondu dur, acier dur, acier doux, fer puddlé dur, fer doux, fer de Suède au bois.

La table précédente montre que chaque fil gagne considérablement par le recuit et que nous ne pouvons évaluer la véritable capacité magnétique d'un fer ou d'un acier quelconque à moins d'avoir pris particulièrement soin qu'il fût recuit au maximum.

L'influence de la trempe sur la force coercitive magnétique ou sur la rigidité moléculaire s'est montrée dans tous les morceaux de fer ou d'acier examinés, la rigidité moléculaire de l'acier fondu trempé étant pro-

portionnée à son degré de trempe comme on le voit par la table III.

TABLE III

Trempe

	Capacité magnétique.
Acier fin fondu au creuset, trempé :	
Jaune vif, refroidissement dans l'eau froide.......	28
Jaune rouge — —	32
Jaune vif, trempe dans l'eau froide, recuit au jaune paille.	33
Jaune vif, trempe dans l'eau froide, recuit au bleu....	43
Jaune vif, trempe dans l'huile...............	51
Jaune vif, trempe dans l'eau.................	58
Chaleur rouge, trempe dans l'eau.............	66
Chaleur rouge, trempe dans l'huile...........	72
Acier fondu au creuset recuit...............	84
Fer de Suède au bois recuit................	525

La table IV donne les résultats complets des essais mécaniques, chimiques et physiques sur une série de fils fournis par MM. Frédéric Smith et C[e] de Halifax.

La charge de rupture et la conductibilité électrique ont été donnés par MM. Smith et C[e]. L'analyse chimique est de M. Henry S. Bell, de Sheffield : j'ai déterminé moi-même à l'aide de la balance magnétique, la capacité magnétique des fils clairs, recuits ou trempés.

Dans la table IV ci-dessous il y a relation complète entre la conductibilité électrique et la capacité magnétique : toutes deux croissent dans un même rapport et avec une concordance remarquable.

Nous voyons ici que la conductibilité électrique et la capacité magnétique ont entre elles un complet rapport ; j'ai constaté ce même fait, dans chaque fil mesuré ; mais il existe seulement lorsque le fil a été parfaitement recuit et débarrassé de toute déformation mécanique, et quand on emploie une faible force magnétique : la relation existe alors, mais seulement

TABLE IV

(N. B. — Le mile est de $1609^{m},314$ le pouce vaut $2^{cm},539$.

MARQUE.		RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE par mile de $0^{pouce},040$ de diamètre.	CHARGE DE RUPTURE par pouce carré.	CAPACITÉ magnétique.			ANALYSE CHIMIQUE.						
				Fil clair.	Recuit.	Trempé dur.	Carbone.	Silice.	Soufre.	Phosphore.	Manganèse.	Cuivre.	Fer.
		ohms.	tonnes										
G	Fer supérieur de Suède au bois 1.	191,52	28	230	525	435	0,09	traces.	traces.	0,012	0,06	traces.	99,69
F	— — 2.	198,40	30	236	510	415	0,10	traces.	0,022	0,045	0,03	traces.	99,70
T	— — 3.	199,62	31	275	503	395	0,15	0,018	0,019	0,058	0,234	traces.	99,44
S	Fer de Suède Martin-Siemens.	226,32	34	165	430	390	0,10	traces.	0,035	0,034	0,324	traces	99,60
H	Fer puddlé best best	259,92	30	212	340	328	0,10	0,09	0,03	0,218	0,234	0,015	99,11
Y'	Acier Bessemer doux homogène supérieur.	266,52	35	150	291	255	0,15	0,018	0,092	0,077	0,72	traces.	98,74
Y	— dur homogène supérieur.	312,69	50	115	172	60	0,44	0,028	0,126	0,103	1,296	traces.	98,20
Z	Acier fin fondu au creuset.	350,08	53	50	84	28	0,62	0,06	0,074	0,051	1,584	traces.	97,14

dans les limites de la sphère de rotation élastique déjà mentionnée.

Ce rapport que nous voyons ici entre la conductibilité électrique et la capacité magnétique a, je crois, de l'importance au point de vue des considérations théoriques et, au point de pratique, quelque utilité, puisque nous pouvons *à priori*, trouver la conductibilité électrique du fer et de l'acier, par une simple évaluation de sa capacité magnétique : on voit également que le fer est parfaitement propre à la construction des noyaux des électroaimants.

UN ARRANGEMENT TÉLÉPHONIQUE

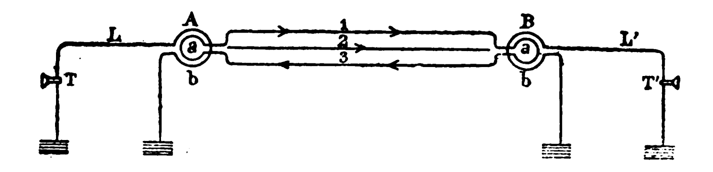
M. A. Nystrom, chef du service technique de l'administration des télégraphes de Suède, a proposé dans une récente lecture le nouvel arrangement téléphonique suivant :

Lorsque l'on tend deux ou plusieurs fils sur une seule et même ligne de poteaux, la téléphonie simultanée est rendue difficile ou même impossible du fait de la transmission du son qui s'opère d'un fil à l'autre, inconvénient auquel on peut cependant remédier, comme on le sait, en employant pour chaque communication téléphonique un second fil, dit de retour, au lieu de la conduite de terre. Cette combinaison doit avoir lieu de façon que le courant téléphonique circule dans les fils, c'est-à-dire qu'il ait un sens contraire dans chacuu d'eux.

Pour profiter de cette combinaison, quand il s'agit de relier entre eux deux centres téléphoniques à conduites *simples* pour les abonnés j'ai imaginé l'arrangement suivant, basé sur des expériences auxquelles j'avais déjà fait procéder dans le courant de l'année dernière.

Une bobine d'induction *ab*, dont les tours de spires sont adaptés aux conditions de résistance de la ligne, est installée dans chacun des deux centres téléphoniques A et B (voir la figure ci-jointe). L'un des tours, *a*, de chaque bobine est mis, de la façon indiquée par

la figure, en communication permanente avec les deux fils qui réunissent les bureaux A et B. Une extrémité du second tour *b* est en communication permanente



avec la terre aux postes centraux. Le commutateur ordinaire de ces postes permet de relier une conduite simple quelconque avec la seconde extrémité du tour *b*. Quant au second bout de chacune des conduites simples aux abonnés, il est, comme d'ordinaire, en relation permanente avec la terre.

Le courant qui se produit, quand l'abonné T transmet par téléphone sur la conduite locale L, circule par le tour *b*, et agit par induction sur le tour *a*. Il en résulte, comme l'indique les flèches dessinées sur la figure, un courant circulaire dans les fils 1 et 3, réunis entre eux à leurs extrémités par les tours *a*. Ce courant qui, au poste opposé, passe par le tour *a*, y produit, de son côté, un courant induit sur la conduite simple L' qui relie l'abonné T. De cette façon, plusieurs conduites doubles peuvent être simultanément employées pour la téléphonie, sans que les conversations se troublent et, en outre, une conversation peut avoir lieu au moyen d'une conduite simple entre les deux postes centraux, quoique les courants électriques entre les plaques de terre de cette conduite simple produisent un bruissement assez gênant.

La figure montre un fil simple 2 placé au milieu des deux fils 1 et 3, qui composent une conduite dou-

ble. Le fil 2 exerce, il est vrai, une action inductive sur les fils 1 et 3, mais cette action est telle que l'effet subi par l'un de ces fils est essentiellement paralysé par l'effet exercé sur l'autre. De même, les fils 1 et 3 agissent par induction sur le fil 2, mais en sens contraire et, par conséquent, sans effet essentiel. Un fait remarquable, toutefois, c'est qu'il n'est pas nécessaire que le fil 2 soit placé entre les deux autres, et qu'il peut aussi se trouver en dehors.

L'intensité du son n'est pas essentiellement affaiblie par cette double translation au moyen de l'induction. On a, en effet, constaté que la translation double fait parvenir le son pour le moins aussi fort que la téléphonie ordinaire sur une conduite simple. Ce fait est d'autant plus remarquable que les courants venant d'un appareil d'induction ordinaire sur l'un des postes sont trop affaiblis par la translation en question pour produire, au poste opposé, les signaux usuels. Or, cette circonstance nécessite des arrangements spéciaux pour le signalement entre les deux postes. Le plus avantageux à cet égard est de disposer d'un fil spécial commun à tous les systèmes de conduite doubles. De cette façon, le nombre des fils nécessaires serait le double de celui des communications téléphoniques qui pourront se faire simultanément.

En connexion avec ce qui précède, je citerai une autre expérience pratique; Une ligne téléphonique à quatre fils a été établie, cette année, entre Malmo et Lund (Scanie), pour relier les réseaux de ces deux villes, situées à une distance de 18 kilomètres l'une de l'autre. Chaque poteau a été revêtu de tôle de zinc de la longueur d'un mètre à partir du sommet, et ce revêtement a été mis, également pour chaque

poteau, en communication avec la terre au moyen de feuilles de fer de la largeur d'environ 6 centimètres. Le but de cet arrangement est, d'un côté, d'empêcher la communication, le long des poteaux, d'un fil à l'autre, et, de l'autre, de protéger les poteaux contre les décharges atmosphériques.

Quand, au commencement de juillet, la ligne a été livrée au service téléphonique, on constata immédiatement l'impossibilité de faire usage de conduites simples pour deux ou plusieurs communications simultanées. Même quand on n'employait que le fil supérieur et le fil inférieur, la transmission téléphonique sur l'un des fils troublait essentiellement la transmis-par l'autre. Il paraît donc constaté que la suppression de la conduite le long des poteaux ne suffit pas à empêcher la transmission du son d'un fil à l'autre. C'est alors que l'on a eu recours à l'arrangement exposé ci-dessus, et l'expérience a fait reconnaître que le but proposé était ainsi complètement atteint.

INTERRUPTEUR AUTOMATIQUE

DE F. CARÊME ET L. HOUZEAU,

Contrôleurs des Postes et des Télégraphes

POUR

L'EMPLOI SIMULTANÉ D'UNE PILE PAR UN GRAND NOMBRE DE POSTES (*).

Lorsqu'un manipulateur établit accidentellement une communication directe entre la pile et la terre, et prive les autres lignes de leur pile, cet interrupteur signale la perturbation par une sonnerie, supprime le dérangement et indique le poste sur lequel l'accident s'est produit.

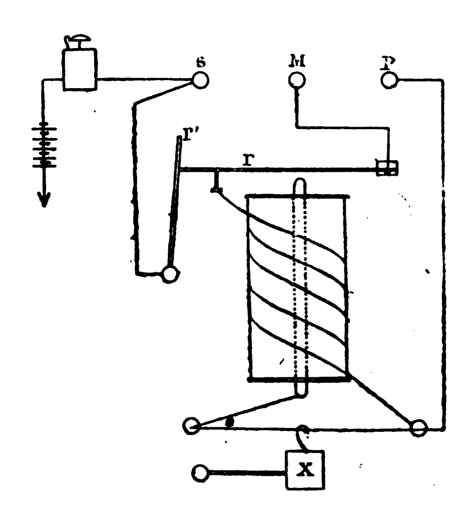
Cet instrument est fondé sur l'emploi des effets calorifiques produits par le courant électrique dans un conducteur :

1° Dilatation linéaire;
2° Combustion.

1° Un bâton de zinc (dont le coefficient de dilatation linéaire est très élevé) est placé au centre d'une bobine teinte complètement en noir pour qu'elle absorbe plus de chaleur. Le fil doit être enroulé le plus près possible du bâton, mais sans le serrer; celui-ci repose sur l'extrémité d'une vis qui doit servir à régler l'instru-

(*) Cet appareil a figuré à l'exposition d'Électricité de Vienne, en 1883.

ment, c'est-à-dire rapprocher ou éloigner le zinc d'un ressort *r* placé au-dessus de lui.



La bobine est parcourue à l'état normal par le courant de la pile qui va de là par une vis de contact et le ressort *r* jusqu'au manipulateur.

Au moment où le manipulateur établit une communication directe avec la terre, le courant échauffe la bobine, puis le bâton de zinc qui s'allonge, pousse le ressort, produit la rupture du circuit ordinaire, établit en même temps par *r* et *r'* une communication entre la terre et la sonnerie indicatrice qui fonctionne sous l'influence d'un courant local, jusqu'à ce qu'on l'arrête, et enfin ouvre une autre voie au courant de la pile.

2° Un fil de fer fin, tendu entre deux bornes-arrêts, retient un petit cadre indicateur portant le nom du manipulateur correspondant.

Ce fil est échauffé et brûlé au moment où le bâton

de zinc donne passage à la pile de ligne, et, en se rompant, laisse tomber le cadre en regard de l'ouverture ménagée dans le couvercle.

Au haut de l'instrument qui doit être placé verticalement, une manette très légère sert à replacer les deux ressorts dans leur position de repos, c'est-à-dire celle où la sonnerie est isolée et la pile en communication avec son manipulateur.

Le ressort vertical *r'* porte une petite pièce d'ébonite, non représentée dans la figure, pour isoler au repos les deux ressorts l'un de l'autre, et empêcher le ressort *r* de revenir sur sa vis de contact.

Parmi les expériences que nous avons faites au poste central, nous pouvons citer les suivantes, qui nous ont permis d'apprécier, au moins dans une certaine mesure, l'échauffement et, par suite, l'allongement et la combustion des métaux employés, et le temps nécessaire pour obtenir ces effets.

En prenant une pile Callaud munie de zinc en spirale, avec 5 ou 6 éléments en surface et 10 en tension, un fil de fer très ténu, semblable à celui dont on se sert pour les bobines de paratonnerre, rougit en moins d'une minute.

Il est fondu dans le même temps :

1° Avec une pile Callaud ayant le même nombre d'éléments en surface et 15 en tension;

2° Avec 10 éléments Callaud en surface et 10 en tension;

3° Avec une pile au bichromate de 12 éléments, modèle Cloris Baudet.

Avec des piles Callaud ayant 6 éléments en surface, et 40 en tension, le fil a été brûlé instantanément.

Mais, lorsque nous avons employé une pile de 100 Callaud montée uniquement en tension, nous n'avons pas reconnu d'effet utile.

L'allongement du bâton de zinc a été constaté avec des pilles Callaud ayant 4 ou 5 éléments en surface et 15 en tension.

Il convient d'ailleurs de ne pas oublier que ces résultats peuvent être modifiés, si l'on prend un bâton de zinc plus mince et plus long, un fil de fer plus fin.

Rappelons enfin que l'instrument n'a son emploi qu'avec des piles ayant une surface suffisante pour desservir au moins une quinzaine de lignes.

F. Carême.

CHRONIQUE.

Société internationale des électritiens.

La Société internationale des électriciens s'est réunie le 6 février sous la présidence de M. Berger.

Dans cette première séance on a procédé à la nomination d'un membre français du comité d'administration en remplacement de M. Gauthiers-Villars, démissionnaire. M. Fribourg directeur du personnel au ministère des postes et des télégraphes, a été élu à l'unanimité.

On a ensuite nommé présidents d'honneur :

Pour l'Allemagne..........	M. *Helmotz*;
— l'Angleterre..........	M. *Charles Right*;
— la Belgique..........	M. *Melsens*;
— l'Espagne...........	M. *Urena y Velasco*;
— les États-Unis de l'Amérique du Nord..........	M. *Morton*;
— l'Italie.............	M. *Roselti*;
— la Norwège..........	M. *Broch*;
— les Pays-Bas.........	M. *Bosscha*;
— le Portugal..........	M. *Païva*;
— la Russie...........	M. *Velitchko*;
— la Suède...........	M. *Nystrom*;
— la Suisse...........	M. *Curchod.*

Puis on a élu 22 membres étrangers du comité d'administration.

M. Carpentier a ensuite donné une description sommaire de ses appareils de mesure électrique, et M. Gaulard a exposé le principe du générateur secondaire (système Gaulard et Gibbs).

Sur la loi de Joule.

Note de M. P. Garbe.

Au cours d'un travail que j'ai entrepris sur la relation qui existe entre la nature des radiations émises par les lampes à incandescence et l'énergie rayonnée par ces lampes, j'ai été amené à la vérification de la loi de Joule dans le cas des corps incandescents, et, quoique l'exactitude de cette loi ne paraisse pas devoir être mise en doute, les résultats auxquels je suis arrivé sont assez nets pour que je demande à l'Académie la permission de les lui présenter.

La manière la plus directe de mesurer l'énergie rayonnée par une pareille lampe est de plonger dans un calorimètre et de mesurer l'échauffement qu'elle y produit; mais les déterminations calorimétriques seraient tellement délicates et incommodes que je préférai leur substituer la mesure électrique de l'énergie dépensée, par la détermination de l'intensité du courant et de la différence des potentiels aux bornes de la lampe. Toutefois, avant de faire cette substitution, je tenais à m'assurer que les nombres absolus fournis par les appareils dans ces deux modes de détermination était concordants, et, en second lieu, que la loi de Joule s'appliquait aux températures si élevées auxquelles le charbon se trouve porté.

Je me suis servi du calorimètre de M. Berthelot. Deux thermomètres donnant le 1/50 de degré par division de 1 millimètre environ, plongent, l'un dans l'enceinte extérieure, l'autre dans le calorimètre par l'ouverture rectangulaire du couvercle. La lampe à incandescence est suspendue au sein du liquide par deux gros fils de cuivre recouverts de gutta, qui traversent côte à côte les ouvertures centrales des couvercles et viennent plonger à leur sortie dans deux godets A, B remplis de mercure, où aboutissent également les fils de l'électromètre. Deux autres godets, situés en face des premiers, reçoivent les fils qui amènent le courant et qui sont assez gros pour ne pas s'échauffer pendant l'expérience.

La mesure de l'intensité se faisait au moyen d'un galvanomètre de Weber, muni d'un shunt au 1/100 environ, et mis

en dérivation sur le courant principal. Ce galvanomètre, muni du shunt, avait été gradué en ampères par la décomposition du sulfate de cuivre, en partant des données de M. Mascart.

N'ayant pas à ma disposition d'électromètre Thomson, j'ai construit un électromètre ordinaire de M. Lippmann, dont j'ai déterminé la courbe. Au moyen d'éléments Daniell mis en opposition et d'un commutateur, j'obtenais la différence de potentiel entre A et B par une indication de l'électromètre inférieure à $0^d,5$. La force électromotrice d'opposition de ces daniells fut déterminée au moyen du galvanomètre précédent, par la méthode indiquée par M. Crova (*).

La mesure des différences du potentiel en A et B, pendant la marche de la lampe, doit être faite avec soin. On sait, en effet, que la résistance du charbon diminue rapidement à mesure que sa température s'élève, à tel point que, dans la lampe Maxim qui a servi à mes expériences, cette résistance qui, à froid, est de $5^{ohms},4$, n'est plus que de 3 ohms pour une intensité du courant égale à $2^{amp},4$.

Une première détermination, faite avec environ 600 grammes d'eau distillée dans le calorimètre, m'a donné :

Intensité en ampères.	Travail électrique dépensé en 10 m.	Chaleur reçue par le calorimètre en 10 m.
0,926	$430^{cal},94$	$430^{cal},71$

l'équivalent mécanique de la chaleur étant pris égal à 0,428.

La concordance de ces nombres est parfaite et même inespérée; car, bien que les conditions calorimétriques fussent excellentes, l'erreur possible de 1/200 de degré changerait de 3 unités le nombre de calories dégagées.

M'étant aperçu que, pour de fortes intensités, des traces d'électrolyse se manifestaient entre les fils si rapprochés de la lampe; n'ayant plus, d'ailleurs, pour la vérification de la loi de Joule, à faire de mesures absolues, je remplaçai l'eau par de l'alcool à 95°. A ce titre, l'alcool, tout en isolant parfaitement, n'est pas assez hygrométrique pour troubler les expériences. D'ailleurs le calorimètre avait été fermé, et cette

(*) *Journal de physique*, t. III, p. 278.

condition est indispensable si l'on veut que les radiations de toute nature, émises par le charbon incandescent, soient retenues dans l'appareil.

D'après la nature du phénomène calorifique à mesurer, il semblait naturel d'appliquer la méthode de compensation de Rumford; mais je n'ai pas tardé à m'apercevoir, ainsi que l'a montré M. Berthelot, que, même dans le cas actuel, ce mode de correction est illusoire. En se plaçant, au contraire, dans les conditions indiquées par M. Berthelot et en ayant soin que l'élévation de température du calorimètre ne dépasse pas 2°, la correction du rayonnement est insignifiante et le seul refroidissement qu'éprouve l'appareil est dû à l'évaporation de l'alcool. Aussi la chute de température, à la fin d'une expérience, ne dépassait-elle jamais 0°,006 à la minute.

Le tableau suivant donne les résultats obtenus :

Déviation du galvanomètre $= \delta$.	Différence de potentiel en daniells $= e$.	Élévation de température rapportée à 10 m. de passage $= \theta$.	Rapport $\frac{\delta e}{\theta}$.
39	1,49	0,323	179,9
140,5	4,083	3,189	179,8
187,8	5,228	5.43	180,8
231,4	6,25	8,02	180,3

Si l'on se reporte aux nombres donnés par Lenz, on voit qu'ils présentent entre leurs extrêmes une différence de 1/11 environ de leur valeur, quoique cependant les fils, s'échauffant peu, restassent presque identiques à eux-mêmes, tant au point de vue de leur structure que de la nature des radiations qu'ils émettaient. La vérification actuelle ne paraîtra donc pas sans intérêt, si l'on remarque que la température du charbon a varié depuis les températures ordinaires jusqu'à celles où son rayonnement est voisin de celui de la lampe Carcel, ainsi que je l'ai reconnu par la comparaison de ces deux sources au spectrophotomètre.

(*Comptes rendus.*)

Sur la conductibilité électrique des dissolutions salines très étendues.

Note de M. E. Bouty.

Dans une note antérieure (*), j'ai établi que l'équivalent de tous les sels neutres en dissolution très étendue possède la même conductibilité électrique. Les expériences avaient été réalisées à la température moyenne de l'air du laboratoire. Il restait à savoir si la même relation continuerait à se vérifier à des températures différentes.

Pour m'en assurer, j'ai comparé la conductibilité électrique de dissolutions identiques d'un même sel maintenues à des températures différentes, qui ont varié arbitrairement de 2° à 44°, et j'ai déterminé la loi de la variation de la conductibilité avec la température. Voici les résultats que j'ai obtenus :

1° La conductibilité électrique d'un sel neutre en dissolution très étendue croît proportionnellement à l'élévation de la température, d'après la formule

$$c_t = c_0(1 + kt).$$

2° Le coefficient k est le même pour tous les sels neutres (**). On s'en convaincra par l'examen du tableau suivant :

Nature du sel.	Proportion de sel.	k.	Nombre d'expériences.
KCl	$\frac{1}{200}$	0,0332	8
KCl	$\frac{1}{1000}$	0,0340	1
KCl	$\frac{1}{4000}$	0,0333	2
AzH^4Cl	$\frac{1}{200}$	0,0354	4
KO, SO^3	»	0,0319	3
KO, CrO^3	»	0,0326	4
KO, AzO^5	»	0,0343	3
PbO, AzO^5	»	0,0358	3
AgO, AzO^5	»	0,0320	
$CuO, SO^3 + 5HO$	»	0,0338	4
	Moyenne	0,033543	

(*) Voir *Comptes rendus*, t. XCVIII, p. 140; 21 janvier 1884.

(**) M. F. Kohlrausch (*Wied. Ann.*, VI, p. 191 et suiv.) avait déjà

Ainsi la conductibilité de toutes les dissolutions étudiées est une même fonction de la température. Le rapport de ces conductibilités demeure donc invariable quand la température change, et la loi des équivalents, établie vers 15°, est exacte à toute autre température.

Ce résultat était, *a priori*, assez vraisemblable. Mais les expériences actuelles tirent un intérêt particulier de la valeur numérique trouvée pour le cofficient k de variation de la conductibilite avec la température.

M. Grossmann (*) a déduit des expériences de MM. Kohlrausch et Grotrian sur la conductibilité de divers chlorures et du sulfate de zinc en dissolution dans l'eau, et de celles de M. Grotrian sur le frottement intérieur des mêmes dissolutions, une loi dont voici l'énoncé : *Le produit de la conductitibilité électrique par le frottement intérieur est, pour un même sel, au même état de dilution, indépendant de la température.* Pour les dilutions extrêmes que j'emploie, cet énoncé devient : *Le produit de la conductibilité électrique d'une dissolution saline par le frottement intérieur de l'eau est indépendant de la température*, ou, ce qui revient au même, *La conductibilité électrique varie proportionnellement à la quantité d'eau qui s'écoule dans un même temps à travers un même tube capillaire aux diverses températures et sous une même pression.*

D'après Poiseuille (**), cette quantité d'eau varie proportionnellement au trinôme

$$(1) \qquad 1 + 0,0336793\,t + 0,000209936\,t^2,$$

tandis que, d'après l'ensemble de mes expériences, la conductibilité de dissolutions salines étendues varie proportionnellement au binôme

$$(2) \qquad 1 + 0,033543\,t.$$

observé que la variation de la conductibilité électrique avec la température est sensiblement la même pour un grand nombre de sels neutres en dissolution étendue. La plus faible concentration qu'il ait employée est $\frac{1}{20}$. La loi n'est rigoureusement exacte que pour des dilutions bien plus grandes.

(*) Grossmann, *Wied. Ann.*, t. XVIII, p. 119.

(**) Poiseuille, *Mémoire des savants étrangers*, t. XI, p. 433. Voir aussi le *Rapport* de Regnault sur le Mémoire de Poiseuille (*Annales de Ch. et de Phys.*, 3e série, t. VII, p. 50).

Les limites de températures des expériences de Poiseuille et des miennes sont très sensiblement les mêmes.

Il est impossible de ne pas être frappé de l'identité presque absolue du coefficient des termes en t dans les formules (1) et (2); mais la formule de la conductibilité est plus simple : elle n'admet pas de termes en t^2. La moyenne des meilleures expériences effectuées d'une part entre 2° et 24°, d'autre part entre 2° et 44°, me donne, en effet :

De 2° à 24°. . . . . $k = 0,034022$
De 2° à 44°. . . . . $k = 0,033838$

nombres identiques à 1/150 près. Le *frottement électrolytique*, auquel il faut attribuer la résistance électrique, est donc un phénomène de même nature, mais un peu plus simple que le frottement intérieur, tel qu'il est évalué par le moyen des tubes capillaires. L'action de la paroi des tubes doit, en effet, introduire des complications particulières.

On sait que l'électrolyse des dissolutions salines s'accompagne du transport d'une certaine quantité d'eau, effectué dans le sens du courant. On peut imaginer que les molécules électrolytiques entraînent chacune une petite atmosphère d'eau, qui doit se déplacer avec elles au sein de la masse liquide immobile; il en résulte un frottement qui, dans le cas limite où je me suis placé, est celui de l'eau sur elle-même. Tel serait, dans ce cas, le mécanisme très simple de la résistance électrique des dissolutions salines étendues. Celle-ci ne dépendrait que du coefficient de frottement de l'eau et du nombre de molécules d'eau entraînées par les éléments d'une molécule de sel. La loi des équivalents, que j'ai énoncée, signifierait que, dans les dissolutions très étendues, le nombre de molécules d'eau entraînées par une molécule des divers sels neutres est invariable.

(*Comptes rendus.*)

Électricité développée par les courroies dans les filatures.

Dans le numéro des *Annales Télégraphiques* novemore et décembre 1883, tome X, 3e série, nous avons reproduit, à la

page 654 et suivante, un article extrait de la publication (La Lumière électrique) et intitulé : *Électricité développée par les courroies dans les filatures.* D'après ce document, M. Hawey Chase aurait fait d'intéressantes observations à ce sujet en Amérique, à Lowel, Manchester, Concord et autres localités, et les aurait résumées dans une thèse soutenue devant l'institut de technologie de Boston. Des procédés assez compliqués sont indiqués pour faire disparaître ces phénomènes électriques.

Il y a lieu de rappeler que ces phénomènes ont été décrits en détail et étudiés fort longuement en 1863 et 1864, dans deux articles de M. Loir, publiés dans les *Annales Télégraphiques*, le 1er, sous le titre de : Production gratuite d'électricité dans les usines, page 281 ; le 2e, sous celui de : Courroies électrogènes, page 359.

Dans ce dernier, il est dit, à la page 371, *qu'il suffit d'enduire de plombagine une courroie électrogène pour faire disparaître toute trace d'électricité.* Ce procédé est évidemment beaucoup plus simple et pratique que tous ceux *dont il est question.*

Il est fort possible que M. Hawey Chase n'ait pas eu une connaissance antérieure des travaux de M. Loir; mais le droit de priorité de ce dernier n'en est pas moins incontestable, et il est bon de remarquer que ces observations signalées comme nouvelles en Amérique en 1883, ont été publiées en France il y a vingt ans déjà.

Errata.

Il s'est glissé une erreur de copie ou d'impression dans ma note insérée aux *Annales* novembre-décembre (Éclairage électrique du poste central).

Page 622, dans le décompte de la dépense horaire, on lit, pour le prix de la force motrice : 70 centimes par cheval, — c'est 17 centimes qu'il faut.

Nécrologie.

NOTICE SUR LES TRAVAUX DE TH. DU MONCEL.

La science de l'électricité vient de faire une perte bien sensible dans la personne de M. le comte Th. du Moncel qui, pendant plusieurs années, a été attaché à l'administration des lignes télégraphiques en qualité d'ingénieur électricien, et était encore en dernier lieu membre de la commission de perfectionnement des appareils et inventions télégraphiques, à laquelle il apportait un concours précieux par l'étendue et la variété de ses connaissances.

Nous ne pouvons mieux faire que de reproduire la notice que M. Edm. Becquerel a lu à l'Académie des sciences sur les travaux de ce savant distingué, regretté de tous ceux qui l'ont connu.

Théodose Achille-Louis, comte du Moncel, membre libre de l'Académie des sciences, eut, dès sa jeunesse, le goût des sciences et des arts. Il suivit en cela les nobles exemples de sa famille, car son grand-père maternel, M. de Magneville, naturaliste distingué, fonda à Caen un musée d'histoire naturelle, un jardin des plantes, une société linnéenne et celle des antiquaires de Normandie, et son père, général de génie, se livra avec ardeur à l'agriculture.

Il avait à peine terminé ses études, qu'il fit paraître un *Traité de perspective* et s'occupa de l'examen archéologique des monuments de la Normandie. En 1843, à l'âge de 22 ans, il entreprit un voyage en Orient, d'où il rapporta un grand nombre de souvenirs historiques, scientifiques et artistiques qui firent le sujet d'un ouvrage : *De Venise à Constantinople à travers la Grèce,* dont les planches furent dessinées et lithographiées par lui. Il fit encore plusieurs publications de ce genre; mais, à partir de 1850, il s'adonna exclusivement à

l'étude des sciences physiques, qu'il poursuivit depuis sans interruption.

Il commença par établir un observatoire météorologique pourvu d'instruments enregistreurs de son invention, qui non seulement lui donnèrent le goût de la mécanique, mais encore le conduisirent à s'occuper d'électricité, science qui allait devenir l'objet de tous ses travaux; il avait trouvé sa voie, et il ne s'en écarta plus pendant le reste de sa carrière.

La télégraphie électrique venait d'être installée en France; il vit aussitôt que l'on pouvait introduire de nombreux perfectionnements et construisit des appareils enregistreurs de différents genres, qui, justement appréciés à l'Exposition universelle de Paris, en 1855, lui valurent une des premières récompenses.

A partir de ce moment, et à divers reprises, il fit connaître d'autres instruments analogues, tels que télégraphes, moniteurs électriques, systèmes divers pour l'inflammation des mines, dont l'un fut employé au creusement du port de Cherbourg, ainsi que plusieurs appareils, utilisés avec avantage dans diverses circonstances.

L'appareil d'induction de Ruhmkoff fut pour lui l'objet d'une étude attentive; il analysa un des premiers les effets des courants induits à haute tension, directs et inverses, que l'on recueille avec cet appareil, c'est-à-dire les courants induits de rupture et de fermeture, et reconnut que l'on pouvait faire prédominer tels ou tels courants, suivant la résistance des circuits parcourus par eux; il montra, en outre, quelle était la composition complexe de la décharge d'induction et donna le moyen de séparer les deux parties qui la constituent, c'est-à-dire l'auréole et le trait de feu, ou, ce qui appartient à la transmission par l'incandescence du milieu ambiant. Il fit concourir à cette analyse délicate, non seulement les actions extérieures mécaniques, mais encore l'analyse spectrale.

Le passage de l'électricité au travers des conducteurs imparfaits le conduisit à observer le premier des effets qui se produisent lorsque deux lames de verre placées à distance l'une de l'autre ont chacune une de leurs faces extérieures munie d'une armature en relation avec les extrémités polaires

d'un appareil d'induction; il se manifeste alors entre ces lames de verre une nappe lumineuse nommée *effluve électrique*, actuellement en usage pour l'électrisation des gaz et des vapeurs, ainsi que pour la production de l'ozone.

Les lois de l'aimantation des électro-aimants, suivant l'intensité des courants électriques et les dimensions des circuits, furent, de sa part, le sujet de longues recherches très bien dirigées. Il s'occupa de la distribution du magnétisme et détermina par expérience les effets produits sur des armatures placées à des distances diverses; puis il chercha quelles étaient les conditions les plus favorables de construction des électro-aimants destinés à être placés dans des circuits d'une résistance déterminée, et il put indiquer quelles étaient les conditions du maximum quand on ne dépasse pas la saturation magnétique de la masse centrale en fer. Cet ensemble de recherche constitue un travail important, utilisé dans la pratique.

Il faut distinguer encore, parmi les travaux de notre confrère, les Mémoires qu'il a publiés sur l'électricité atmosphérique et dans lesquels il a cherché à expliquer les changements d'intensité et les décharges qui ont lieu dans l'atmosphère, en assimilant ces effets à ceux auxquels donnent lieu les effets de tension des appareils d'induction.

Comme ingénieur et membre du Conseil de perfectionnement du matériel des lignes télégraphiques, le comte du Moncel fit plusieurs séries de recherches sur les causes de variations d'intensité des différentes piles, sur leur force électromotrice, sur leur résistance à la conductibilité, ainsi que sur la transmission de l'électricité à travers le sol et sur l'isolement des fils électriques. Il étudia d'une manière spéciale les courants accidentels qui se produisent sur les lignes télégraphiques, et reconnut que, dans certains cas, l'action chimique exercée par les agents atmosphériques sur les fils conducteurs pouvait donner lieu à des effets perturbateurs.

A la suite de ces derniers travaux, il entreprit des expériences très délicates sur la conductibilité des corps médiocres conducteurs, tels que les substances ligneuses et minérales, recherches qui ont vivement attiré l'attention. Il démontra

que cette conductibilité devait être principalement attribuée à l'humidité, qu'elle variait avec l'état hygrométrique de l'air ambiant, qu'elle changeait également suivant les dimensions des corps, la pression exercée sur eux et leur température, et qu'une dessiccation complète de certains bois conduisait à un grand pouvoir isolant.

Ces recherches et d'autres encore, que je ne puis énumérer ici, sont la preuve de sa persévérance dans la direction de ses travaux. Sa préoccupation constante était l'extension des applications de l'électricité, dont il était un des plus ardents promoteurs; c'est même dans ce but qu'il entreprit ses publications les plus importantes, notamment son *Exposé des applications de l'électricité*, qui a eu trois éditions (la dernière en cinq volumes), œuvre capitale, éminemment utile et renfermant des documents nombreux, sources précieuses pour les ingénieurs électriciens. Il publia, en outre, un *Traité de télégraphie électrique*, des ouvrages sur les appareils d'induction, sur les lois des électro-aimants, l'éclairage électrique, la téléphonie, ouvrages justement estimés et qui ont eu plusieurs éditions; il est également auteur d'un grand nombre de notices et d'articles scientifiques qui ont paru dans différents recueils. Tous ces travaux et ces publications lui assignent un rang élevé parmi les savants qui se sont distingués dans l'étude des questions relatives aux applications diverses de l'électricité.

Depuis 1856, il faisait partie du Conseil de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, et jusque dans ces dernières années il a prêté à cette compagnie le concours de son expérience, notamment en ce qui concerne la télégraphie électrique, qu'il connaissait dans ses moindres détails.

Il eut le bonheur d'être uni à une compagne dont la haute intelligence put comprendre l'importance de ses travaux; elle était initiée à toutes ses recherches, et s'était faite son collaborateur dévoué pendant toute sa carrière scientifique; aussi sa vie s'est-elle écoulée heureuse et tranquille, et a-t-il pu se livrer sans relâche à ses recherches de prédilection. Sa plus grande ambition fut satisfaite le jour où il vint prendre place parmi nous.

Artiste habile, archéologue érudit, physicien ingénieux et

fécond, travailleur infatigable, le comte Théodose du Moncel n'a pas ralenti sa marche un seul instant, et, il y a peu de temps encore, il prenait part à nos travaux. D'une parfaite loyauté et plein de bienveillance envers tout le monde, il laisse parmi ses confrères un inaltérable souvenir.

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1884 **Mars-Avril**

DÉTERMINATION DE L'OHM.

ÉTUDE DE LA MÉTHODE DE L'AMORTISSEMENT DES AIMANTS.

Par **M. J. B. BAILLE.**

La Conférence internationale pour la fixation des unités électriques a indiqué l'amortissement des aimants mobiles comme une méthode propre à déterminer l'ohm, c'est-à-dire à mesurer en valeur absolue la résistance d'un fil défini. J'avais déjà, dans un travail antérieur, étudié la résistance de l'air sur les corps oscillants (*Journal de l'École polytechnique*, 52e cahier, 1883, et *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 21 mai 1883), et bien que cette méthode ne me parût pas devoir donner des résultats très précis, j'ai cru utile de l'étudier complètement et dans les meilleures conditions possibles, bien certain que cette étude donnerait des indications intéressantes, même si le résultat numérique n'est pas aussi approché de la valeur théorique qu'on peut l'avoir par d'autres méthodes.

1° THÉORIE.

La méthode de l'amortissement des aimants mobiles a été donnée par W. Weber, à qui il faut toujours remonter pour les principes de ces déterminations [*Annales de chimie et de physique*, 55e vol., 2e série (1861)].

Lorsqu'un petit aimant oscille au centre d'un conducteur circulaire de rayon R, dont le plan fait un angle ω avec l'axe magnétique de l'aimant mobile, il détermine dans le conducteur circulaire un courant induit que les lois des courants induits permettent d'évaluer. — Dans ces conditions, en effet, la force électromotrice E est proportionnelle au moment magnétique M du barreau inducteur, à la vitesse d'oscillation $\frac{d\omega}{dt}$, au cosinus de l'angle ω, à la longueur du conducteur induit $2\pi R$, et en raison inverse du carré de la distance; de sorte que si toutes les quantités sont mesurées en valeur absolue CGS, on a l'équation (*)

$$E = \frac{2\pi M}{R} \times \cos\omega \frac{d\omega}{dt}.$$

D'un autre côté, le courant induit réagit sur l'aimant mobile, et détermine une résistance dont le moment peut s'évaluer directement, d'après les lois d'Ampère, sur les phénomènes électro-magnétiques. Ce moment est proportionnel au moment magnétique du barreau M, à l'intensité du courant I, à sa longueur

(*) Cette théorie, exposée dans le cas d'un cercle unique, devient bien plus complexe dès qu'on considère plusieurs cercles, c'est-à-dire une bobine, il faut alors tenir compte de l'extra-courant, ce qui revient à introduire un terme contenant le coefficient de self induction. Mais, comme ce terme est toujours très petit (C. Maxwell, art. 762), il vaut mieux le regarder comme une correction, et s'en occuper seulement au moment de la discussion des résultats numériques.

$2\pi R$, etc.; il est exprimé par

$$\frac{2\pi M}{R} I \cos\omega.$$

D'ailleurs le moment de cette résistance, fonction de la vitesse, peut se représenter par $h\frac{d\omega}{dt}$, et l'on a la nouvelle équation :

$$h\frac{d\omega}{dt} = \frac{2\pi M}{R} I \cos\omega.$$

De ces deux équations on peut tirer le rapport

$$\frac{E}{I} = W = \frac{4\pi^2}{R^2} \cos^2\omega \frac{M^2}{h},$$

C'est-à-dire que la résistance du conducteur circulaire, évaluée comme l'indique la loi de Ohm, par le rapport entre la force électromotrice et l'intensité du courant produit, est déterminée en valeur absolue par une expression dont les éléments peuvent être mesurés séparément.

En effet, pour traduire expérimentalement cette formule, il faut faire osciller un aimant de moment magnétique M dans un conducteur circulaire de rayon R, et mesurer le coefficient *h* de la résistance due à l'induction.

Le facteur $\cos^2\omega$ peut être remplacé par l'unité. Il suffit pour cela d'orienter aussi exactement que possible le conducteur dans le méridien magnétique, l'aimant exécute de petites oscillations de part et d'autre du méridien. (Dans mon appareil, la valeur la plus élevée que pouvait prendre ω était 1° 26′, et il fallait pour cela que l'amplitude de l'oscillation embrassât toute l'échelle, condition très rare, et qu'il aurait été difficile de réaliser souvent. Dans ce cas extrême, $\cos^2\omega = 0{,}99937$ qu'on peut très sensiblement confondre avec l'unité).

En outre, le nombre R est le rayon du conducteur circulaire au centre duquel oscille l'aimant. Sa détermination, bien qu'elle ne soit pas uniquement géométrique, paraît possible avec une grande approximation: c'est une constante de l'appareil.

M est le moment magnétique du barreau oscillant, mesuré par un procédé quelconque.

h est la résistance que le barreau éprouve sous l'action des courants induits dans le conducteur. On l'obtient par l'étude du mouvement oscillatoire du barreau.

En effet, la loi du mouvement du barreau oscillant est représentée par l'équation différentielle.

$$\mu \frac{d^2\omega}{dt^2} + H\frac{d\omega}{dt} + K\omega = 0$$

$$\omega = Ae^{-\alpha(t-t_0)} \sin 2\pi \frac{t-t_0}{T}$$

avec les relations $H = 2\mu\alpha$

$$\frac{\pi}{T} = \sqrt{\frac{K}{\mu} - \alpha^2}$$

μ étant le mouvement d'inertie du système total.

K la somme des couples des forces qui produisent le mouvement.

A angle que le barreau fait à l'instant t_0 avec l'origine des angles.

H est le coefficient par lequel il faut multiplier à chaque instant la vitesse du mobile pour avoir le moment de la résistance proportionnelle à cette vitesse, quelle que soit la cause de cette résistance.

L'observation directe donne T et α. De la durée T de l'oscillation, on conclut la somme K des couples des forces déterminant le mouvement. Pour avoir α, il faut considérer que les élongations sont données par la valeur de ω, solution de l'équation différentielle dans laquelle on fait

$$t - t_0 = nT$$

et les amplitudes sont les différences de deux élonga-

tions successives. Ces amplitudes forment donc, comme les élongations, une progression géométrique dont la raison est

$$Z = e^{-\alpha T}.$$

Il suffit d'observer trois élongations successives, de prendre le rapport des deux différences pour avoir le nombre Z; et par suite le décrément logarithmique α et le nombre $H = 2\mu\alpha$.

Ce nombre H est la somme de toutes les résistances au mouvement, proportionnelles à la vitesse. La réaction h du courant induit sur l'aimant n'est qu'un des termes de cette somme. Pour le séparer des autres résistances, il suffit de faire osciller l'aimant dans le conducteur ouvert, puis dans le conducteur fermé. Dans le premier cas, l'action électrique est nulle et l'on mesure h'; au contraire, lorsque le conducteur est fermé, l'action existe et l'on mesure H, donc :

$$h = H - h' = 2\mu(\alpha - \alpha').$$

En résumé, cette méthode consiste :

1° A faire osciller un aimant dans une bobine circulaire dont le conducteur forme un circuit alternativement fermé et ouvert, et à mesurer les décréments logarithmiques α et α';

2° A mesurer, par un procédé quelconque, le moment magnétique du barreau oscillant;

3° A mesurer la durée d'une oscillation T et le moment d'inertie μ du système. On pourra alors connaître le couple des forces $K = C + \tau M$, déterminant le mouvement (couple de torsion du fil et couple directeur de la terre sur le barreau).

4° A évaluer le couple de torsion du fil C, afin de séparer les deux couples qui composent la somme K.



On pourra même obtenir le nombre τ représentant la composante horizontale terrestre.

Bien que ces deux nombres C et τ ne rentrent pas dans la formule définitive, il est bon de les calculer, afin de s'en servir comme contrôle des observations.

Enfin la résistance du conducteur au milieu duquel s'effectue l'oscillation sera donnée par une relation. dans laquelle le facteur $\frac{M^2}{h}$ doit rester constant, quelles que soient les conditions particulières de l'observation, tant que le conducteur circulaire reste constant lui-même.

2° CONSTRUCTION ET USAGE DE L'APPAREIL.

Le conducteur circulaire au centre duquel oscille l'aimant, et dont il faut déterminer la résistance en ohms théoriques, doit être construit avec le plus grand soin. Au lieu d'une seule circonférence, dont l'effet serait trop faible pour être mesuré avec précision, il faut mettre un grand nombre de cercles, et par suite enrouler le fil sur une bobine particulière.

Le diamètre de cette bobine doit être assez grand pour que l'aimant, oscillant au centre, puisse être considéré comme concentré en ce point, et assez petit pour que la construction de cette bobine soit possible et même facile. Pour un même barreau aimanté, et une même résistance, le coefficient h à mesurer, varie en raison inverse de R^2 (R rayon de la bobine); on est donc tenté de diminuer ce rayon ; mais comme le moment magnétique du barreau augmente rapidement avec la longueur de l'aimant, on est obligé de conserver pour R une valeur assez grande.

De plus, pour que le conducteur soit régulier et que les différents cercles soient comparables les uns aux autres, il faut que le fil de suspension et tous ses accessoires, soient à l'intérieur, sans que les spires du conducteur s'écartent pour livrer passage à ce fil. En tenant compte de toutes ces considérations, j'ai donné à la bobine vide un diamètre de 39,6 centimètres.

Le support matériel du conducteur doit être formé d'une substance assez résistante, pour n'être ni écrasée ni déformée par la pression du fil enroulé ; on ne peut pas faire cette bobine en métal, parce que les courants induits, même dans le conducteur ouvert, seraient trop grands. J'ai construit la bobine comme on construit quelquefois les tubes en bois qui sont à la fois légers et solides : des feuilles de placage à fils croisés ont été enroulées sur un manchon, collées à mesure avec de la colle forte, et fortement serrées par des bandes de toile. La bobine, terminée et dégagée de son moule, a été tournée puis recouverte en dedans et au dehors, d'une feuille de carton pour rendre la surface bien uniforme ; enfin ce cylindre a été collé sur deux joues de bois bien dressées, d'une hauteur de 10 centimètres.

Le fil enroulé sur cette bobine, est un fil de cuivre de $0^c,22$ de diamètre bien régulier, et recouvert d'une double couche de coton à fils croisés. Ce gros fil a été tendu et enroulé aussi régulièrement que possible. Les spires se recouvraient bien les uns les autres, et le nombre de tours était compté deux fois dans chaque couche. Il y a eu ainsi 20 couches contenant chacune de 96 à 98 tours, les joues étant un peu évasées à l'intérieur, en tout 1.933 tours. La longueur totale

du fil enroulé étant 268414,5 centimètres (rayon moyen $22^c,1$.

Il n'a malheureusement pas été pris de précautions spéciales pour mesurer cette longueur du fil ; je craignais que le rayon R, entrant dans la formule ne fut pas facilement déduit de cette mesure géométrique, la pression des couches supérieures déformant toujours plus ou moins les couches inférieures, et je pensais pouvoir faire cette mesure par des procédés électriques.

Les épissures, au nombre de trois, pour la réunion des bouts de fil, ont été faites en taillant chaque extrémité en sifflet sur une longueur de 5 centimètres environ, et en coulant de la soudure entre ces deux bouts de fil. Avec la lime, on rendait ensuite le diamètre sensiblement uniforme, et le tout était enveloppé d'un fil de soie et de papier gommelaqué, pour éviter les contacts accidentels.

Dans la joue de la bobine, était encastrée, à queue d'aronde, une forte plaque d'ébonite sur laquelle étaient fixées deux pièces de cuivre taraudées. Chacune de ces bornes métalliques était réunie d'un côté à une des extrémités du fil enroulé, de l'autre à un conducteur épais et court, prolongeant le fil de la bobine jusqu'au voisinage de l'observateur. Là ces tiges extérieures aboutissaient à un commutateur à mercure qui permettait d'ouvrir ou de fermer le circuit sans secousse ; et on pouvait négliger (*) la résistance de

(*) Il est essentiel que la résistance extérieure à la bobine, celle sur laquelle l'aimant oscillant n'exerce pas d'induction, soit la plus faible possible et soit absolument négligeable. Voici une observation dans laquelle le même aimant, oscillant avec le même moment d'inertie ($\mu = 436,33$ $T = 6^s,85$), produit cependant un coefficient d'extinction variable suivant la grandeur de

ces conducteurs extérieurs, dont la longueur totale était 3 mètres et le diamètre 1 centimètre.

La bobine terminée fut placée sur un fort support en cuivre et orientée, avec les précautions ordinaires, dans le méridien magnétique (Poids total 87 kilos).

L'aimant oscillant était suspendu au centre de cette bobine. A cet effet, deux tringles de cuivre, encastrées sur les joues de la bobine et placées au haut du vide intérieur, portaient une plate-forme sur laquelle était disposée l'attache du fil de suspension. Ce fil, long de 17 centimètres, retenu par un treuil et une pince, supportait l'étrier, l'aimant, le miroir, et les pièces oscillant ensemble.

Pour mettre tout ce système en mouvement, on lance un faible courant auxiliaire, dans un circuit placé dans les environs de l'aimant mobile, et, suivant le sens de ce courant auxiliaire, le mouvement est accéléré ou retardé. Après avoir usé de ce courant auxiliaire, il est bon d'attendre quelques instants, avant de commencer l'observation, d'abord pour laisser le mouvement se régulariser, puis, pour que le magnétisme du barreau, qui a pu être troublé par ce courant, soit revenu en équilibre.

L'observation consistait à mettre l'aimant en mouvement, et à lire un certain nombre d'oscillations dans les deux sens, à circuit ouvert et à circuit fermé.

Les élongations étaient lues dans le miroir, porté

la résistance extérieure : la fermeture ordinaire est celle décrite plus haut, que je considère comme entièrement négligeable :

Fermeture ordinaire.	$Z = 0{,}9626$
Fermeture ordinaire + 1 ohm environ.	$Z = 0{,}9634$
+ 51 ohms.	$= 0.9635$
+ ∞ (circuit ouvert). . . .	$= 0{,}9938$

par l'aimant mobile et réfléchissant la division d'une échelle, tracée sur verre et éclairée directement par la lumière du jour ou une rampe à gaz éloignée.

Malheureusement cette méthode si simple en apparence, devient rapidement compliquée dès que l'on veut obtenir un résultat d'une approximation déterminée.

Je vais passer en revue les différents éléments, dont la connaissance exacte est nécessaire pour obtenir la résistance cherchée et montrer les précautions qu'il y a à prendre pour que l'ensemble des mesures donne un résultat satisfaisant.

Première partie.

3° COUPLE DE TORSION.

On emploie ordinairement comme fil de suspension un fil de cocon, un fil métallique, ou une suspension bifilaire.

1° Les fils de cocon ont l'avantage d'avoir un couple de torsion très petit, souvent même négligeable. Mais il ne peuvent supporter qu'une charge très faible, ce qui peut être gênant, surtout lorsqu'on doit faire varier le moment d'inertie; mais leur principal inconvénient est d'être sensible aux variations des conditions atmosphériques, telles que la température et surtout l'humidité, qui les font à la fois s'allonger et se tordre.

J'ai employé un fil de cocon dans un petit nombre d'observations préliminaires. C'était un fil composé de deux brins réunis entre eux naturellement, et pouvant supporter une charge d'environ 100 grammes. Le couple de torsion ne pouvait être évalué que par la durée d'une oscillation d'un barreau de cuivre, de

même dimension que le barreau aimanté employé auparavant. Des pièces accessoires établissaient sur le fil à fort peu près une même charge et un même moment d'inertie. L'observation a été très pénible et les résultats douteux (*).

La force directrice du fil de cocon est tellement faible que, malgré sa faible longueur (17c) la durée d'une oscillation était de plusieurs minutes. Mais il a été surtout impossible d'obtenir une position d'équilibre bien franche. Le fil, maintenu au repos pendant longtemps, s'était librement détordu et paraissait en équilibre. Mais aussitôt qu'on met le système en mouvement, il recommence à se tordre rapidement dans un sens ou dans l'autre. L'image de l'échelle sort bientôt du champ de la lunette, et l'observateur ne peut pas suivre l'oscillation ni surveiller les perturbations.

En outre, le milieu de l'oscillation n'étant pas fixe, la mesure de la durée T n'a plus aucune précision.

Lorsque le fil supporte un aimant, et qu'il a ainsi une force directrice notable, les mêmes perturbations se produisent, à peine affaiblies. On ne peut pas obtenir une position d'équilibre bien déterminée, et le mouvement de l'aimant ainsi suspendu n'est jamais régulier. Pendant certains jours, les jours de pluie par exemple, les observations sont absolument impos-

(*) Valeur du couple de torsion pris à quelques heures d'intervalle (CGS), sans qu'on ait remarqué de variations sensibles dans les conditions atmosphériques.

μ	459,93	1217,29	407,26	407,26
T	158s	236s	152s	170s
C	0,183	0,216	0,174	0,139

sibles. Les écarts atteignent 2 à 3 centimètres de part et d'autre de la position d'équilibre, perturbations dues uniquement à la nature du fil de cocon, car elles ne se produisent pas avec un fil métallique.

J'ai donc entièrement renoncé à ces sortes de fils qui peuvent peut-être rendre des services dans certains appareils, les galvanomètres à percussion par exemple, où l'observation dure très peu de temps, mais qui ne pouvaient donner rien de régulier, dans l'étude des mouvements oscillatoires.

2° J'ai employé, comme fils métalliques, un fil d'argent, puis un fil de laiton, recuits et suffisamment tendus pour être bien dressés et n'avoir plus d'allongement permanent. Ces fils ont donné l'un et l'autre de très bonnes oscillations. Le fil de laiton avait l'avantage d'être plus tenace, c'est-à-dire de supporter sans se déformer, une charge assez lourde, ce qui facilite beaucoup l'étude des moments d'inertie.

Les fils métalliques, lorsqu'ils sont bien recuits et tendus depuis longtemps, présentent un couple de torsion absolument constant. Nous avons, M. Cornu et moi, un fil de torsion, placé depuis plus de dix ans et donnant toujours la même position d'équilibre et la même durée d'une oscillation pour un même système suspendu. Pour obtenir un pareil résultat, il faut avoir soin de bien recuire le fil et de ne pas le manier fréquemment. Dans les manœuvres que l'on est obligé de faire, pour prendre ou enlever des pièces, le fil est toujours plus ou moins froissé ou blessé. Il se produit une petite déformation permanente, qui altère le couple de torsion du fil, et qui modifie surtout la position d'équilibre du lien; cette déformation permanente est d'autant plus sensible que le fil est plus fin.

Il est donc nécessaire de mettre un intervalle de temps entre le commencement de l'observation et l'instant où le fil est abandonné à lui-même. Le fil reprend peu à peu son équilibre, sa température, etc., et les oscillations redeviennent aussi bonnes qu'auparavant.

Plusieurs procédés ont été indiqués pour mesurer le couple de torsion d'un fil. Le plus simple, et en même temps le plus précis, consiste à remplacer le barreau aimanté par un barreau de cuivre, à peu près de même inertie, et d'évaluer la durée d'une oscillation, en tenant compte de la remarque précédente. Il faut avoir soin d'opérer à la même température, ou bien si la température a légèrement varié, de faire une correction, comme celle que j'indiquerai plus loin.

D'autres fois, on se borne à prendre le rapport du couple de torsion du fil, au couple directeur de l'aimant.

Pour cela, il suffit de tordre le fil, par sa partie supérieure d'un angle déterminé η, et de noter la déviation δ du barreau inférieur.

L'équation obtenue

$$C(\eta - \delta) = \tau M \delta$$

donne le rapport $\frac{C}{\tau M}$.

Cette manœuvre présente deux inconvénients. D'abord en tordant le fil, on imprime au levier de petits mouvements accidentels, balancement, trépidations, etc., qui se superposent au mouvement principal sans le perturber sensiblement, mais rendent la lecture des divisions plus pénible, et, par suite, moins précise. On est obligé d'attendre quelques instants, et de ne commencer la lecture que lorsque ces mouvements accidentels sont à peu près éteints.

1/2500e environ de sa valeur pour une élévation de température de 1° centigrade (voir les observations définitives); tandis que dans une suspension bifilaire, formée avec le même fil, la variation est 1/1000e, comme on peut le voir par les différentes valeurs obtenues du même couple aux températures ambiantes.

Température.	Durée de l'oscillation	Couple.	$\frac{dB}{d\theta}$
$\theta = 1°,5$	$T = 28^s,795$	$B = 402,53$	0
5°,2	28^s,844	401,16	0,371
8°,1	28^s,891	399,86	0,404
15°,3	29^s,007	396,68	0,424

Il résulte de cette remarque que les différents couples de torsion, celui d'un bifilaire comme celui d'un fil unique, doivent être mesurés à la température même de l'observation; et, pour cela, il faut connaître le moment d'inertie du système suspendu. Cet élément étant bien déterminé, la durée d'une oscillation suffit pour obtenir la valeur du couple.

4° DURÉE D'UNE OSCILLATION.

Quel que soit le fil de suspension employé, il faut observer la durée d'une oscillation, en prenant les heures du passage d'un repère sur le fil du réticule de la lunette; la division repère est choisie vers le milieu de l'amplitude, afin que la diminution de vitesse du pendule, à ses divers passages, soit sans influence. On employait un chronomètre de la marine dont l'état, mesuré fréquemment, était de — 3^s,5 par jour.

De ce chef, aucune correction n'était à apporter aux lectures.

Pour n'avoir pas à compter un nombre trop considérable d'oscillations, je notais l'heure du commencement et de la fin de l'observation, et je comptais à deux reprises différentes la durée de 10 oscillations. L'appareil abandonné à lui-même avait effectué un certain nombre d'oscillations, et ce nombre, qui était à la fois entier et pair, était connu par la durée de 10 oscillations ; de sorte qu'en somme on avait la durée d'un grand nombre d'oscillations d'où l'on calculait la durée T. La formule :

$$\frac{\pi}{T} = \sqrt{\frac{K}{\mu} - \alpha^2}$$

permet de déterminer $K = C + \tau M$, c'est-à-dire donne une relation entre les quantités inconnues C et τM.

Dans cette relation on néglige ordinairement α^2, carré du décrément logarithmique. Ce nombre est, en effet, négligeable devant $\frac{K}{\mu}$. Dans les oscillations ordinaires, α^2 est toujours très faible; et même dans les oscillations à grande décroissance, comme celles d'une aiguille aimantée à l'intérieur d'un circuit fermé, le nombre α^2 ne devient jamais assez grand pour qu'on doive en tenir compte. De plus, dans ce cas, le décrément logarithmique α étant très grand, les oscillations s'éteignent très rapidement et on ne peut pas en compter un nombre assez grand pour avoir une bonne valeur de T.

Voici un exemple de ce que je viens d'indiquer. Dans une expérience particulière à circuit ouvert, le nombre $Z = e^{-\alpha T}$ était $Z = 0,9976$, la durée d'une oscillation

$T = 7^s,671$ établie par une durée de 152 oscillations. Mais en fermant le circuit, le nombre Z devenait 0,9304; et, avec une pareille décroissance d'amplitude, les oscillations n'étaient bientôt plus observables. En prenant l'amplitude initiale énorme de 2/3 circonférence à peu près, au bout de 54 oscillations, l'amplitude totale était réduite à 3 centimètres.

Si donc la division repère n'était pas choisie exactement au milieu de l'oscillation, ou bien si l'aimant mobile, comme toute autre aiguille de déclinaison, a déplacé sa position d'équilibre d'une quantité très petite, les deux côtés de l'oscillation ne sont plus symétriques, et l'erreur commise quand l'amplitude est faible devint très importante.

La durée de l'oscillation, à circuit fermé, précédente a été trouvée $T = 7^s,672$. Mais cette augmentation, bien qu'elle soit dans le sens indiqué par la formule, ne peut pas être attribuée à la variation de α^2: car, pour rendre ce dernier chiffre certain, il aurait fallu observer plus de 500 oscillations. Le nombre T, calculé en tenant compte de α, serait 7,6712, au lieu de 7,6710.

Ainsi les durées d'une oscillation rapportées ci-dessous sont toujours prises à circuit ouvert, à moins d'indication spéciale.

Le chronomètre employé battait les demi-secondes, et les fractions de secondes étant appréciées à l'oreille, avec un peu d'habitude, on arrive très aisément à apprécier ainsi la dixième ou tout au moins les deux dixièmes de seconde.

On règle à peu près à volonté la durée d'une oscillation, en faisant varier convenablement le moment d'inertie du système, ou bien en choisissant le fil de

suspension. Le couple de torsion varie comme la longueur du fil et inversement comme le carré de la section; et la nature du fil a une grande influence sur la valeur de ce couple.

Il est bon de choisir le couple de manière que les deux nombres, composant la somme $K = C + \tau M$, soient, sinon égaux, du moins du même ordre de grandeur, afin que les erreurs de l'observation affectent de la même façon les deux termes.

Enfin on doit régler la durée d'une oscillation pour que l'observation soit facile : si cette durée est trop grande, l'observation complète prend beaucoup de temps, et les divers éléments qu'on mesure, et en particulier ceux du magnétisme terrestre, ne restent pas constants ; de plus, les influences perturbatrices, telles que la variation de température, acquièrent alors une grande importance (*).

Si la durée est trop courte, comme il faut lire les élongations et les inscrire sur un registre d'observation, on n'a plus le temps de faire commodément ces lectures; on se presse, on est constamment préoccupé, et, malgré soi, on laisse échapper quelque lecture essentielle : c'est-à-dire que l'observation manque absolument de précision. On pourrait, il est vrai, dicter à une autre personne l'observation à mesure qu'on la ferait; mais c'est là une complication grande, et il vaut mieux faire disparaître les inconvénients signalés. J'ai reconnu que, pour mon usage personnel, une observation moindre que 7 secondes devenait très difficile, de sorte que les durées d'oscillations ordinairement employées étaient toujours comprises entre 7 et 30 secondes.

(*) Il convient cependant de prendre pour T un nombre assez grand, à cause de la corretion de la self induction, qui varie en raison inverse de T.

5° Moments d'inertie.

Le moment d'inertie du système suspendu étant une quantité constante, peut être déterminé une fois pour toutes.

Je m'étais obligé d'abord à ne prendre que des pièces de forme géométrique, afin de pouvoir calculer d'avance le moment d'inertie, par rapport à l'axe de suspension. Les pièces employées étaient ainsi plus lourdes et moins élégantes, mais le calcul est plus sûr et le résultat plus facile à atteindre. Il ne faut pas s'attendre cependant à ce que le calcul donne une valeur absolument exacte de la quantité cherchée. Les mesures des petites dimensions, telles que l'épaisseur des lames, ne sont jamais rigoureusement exactes, à moins d'employer des appareils spéciaux à chaque forme particulière. De plus les arêtes sont forcément émoussées par le moindre frottement; les pièces réunies par des soudures ne présentent pas l'homogénéité que suppose le calcul mathématique, etc. Aussi le poids calculé d'après le volume est-il toujours plus grand que le poids réel donné par la balance. Tant qu'on se contente d'une approximation ordinaire, l'erreur ainsi commise peut être regardée comme négligeable. Mais lorsqu'on cherche une grande approximation, le calcul direct du moment d'inertie ne donne pas des résultats suffisamment approchés, et il faut alors recourir à la méthode employée par Gauss, sous le nom de *virga linea.*

On déplace des poids P le long d'une règle horizontale ; et on mesure le temps d'oscillation à chaque distance δ particulière des poids : le moment d'inertie du système suspendu augmente à chaque fois de $P\delta^2$, et on a autant d'équations que l'on a fait de mesures du temps.

Pour appliquer cette méthode, il faut avoir soin que le moment d'inertie inconnu des pièces centrales, soit le plus faible possible, et que les accroissements $P\delta^2$ soient assez forts pour produire une grande variation de T.

Je déplaçais des cylindres de plomb sur des règles triangulaires, faisant couteau, et des entailles légères indiquaient leurs positions sur la règle. Ces cylindres étaient supportés par des anneaux dont l'épaisseur était taillée en biseau, de sorte que les poids se mettaient toujours bien verticaux et à des distances toujours les mêmes.

On calcule quelquefois les moments d'inertie en ajoutant à l'étrier des pièces de forme géométrique et de moment bien connu tels que disques, sphères, etc. Ce n'est pas une bonne méthode. Bien que le couple de torsion du fil soit indépendant du poids tenseur, pourvu que ce poids ne produise pas d'allongement, il faut se garder d'augmenter le poids du système suspendu, car le fil doit être bien tendu pour produire de bonnes oscillations, et on ne sait jamais si la limite de l'élasticité est encore éloignée : de sorte qu'on risque de changer la couple de torsion, en allongeant légèrement le fil. — De plus, l'addition de pareilles pièces sur l'axe d'oscillation, dérange le réglage du miroir.

Voici quelques résultats qui montrent combien la méthode de déplacement des poids est précise. Il s'agissait de chercher le moment d'inertie μ des pièces centrales, étrier, miroir, baguette triangulaire, poids sur l'axe, etc. On lisait le temps t avec le moment inconnu μ. — Puis on augmentait le moment d'une quantité connue μ_1, et on lisait le temps T. Avec les deux équations obtenues, on éliminait le couple de torsion qui n'a pu varier que de quantités très petites,

pendant ces deux mesures très rapprochées l'une de l'autre et faites à la même température ; et on déduit la valeur μ.

	t	μ_1	T	μ	
Fil de laiton. (Étrier de la bobine.) . .	$10^s,156$	24309,45	$26^s,658$	4127,34	4125,93
	$10^s,155$	42058,53	$33^s,984$	4124,51	
	$10^s,170$	24307,45	$26^s,691$	4128,70	4128,85
	$10^s,175$	42058,53	$34^s,031$	4128,99	
Bifilaire. (Suspension du bifilaire.)	$28^s,994$	84732,1	$54^s,287$	33815,3	33816,7
	$29^s,007$	»	$54^s,310$	818,1	
	$28^s,883$	»	$53^s,985$	816,7	
Fil de cocon et aimant directeur. .	$7^s,059$	23,6	$8^s,409$	56,354	rejeté
	»	120,1	$12^s,851$	51,893	
	»	156,7	$13^s,550$	58,372	
Fil d'argent et aimant directeur. (Étrier de la boussole.).	$7^s,386$	1909,8	$24^s,658$	188,243	188,210
	$7^s,407$	»	$24^s,732$	188,177	

6° MOMENTS MAGNÉTIQUES ET FORCE TERRESTRE.

Le couple directeur de l'aimant suspendu est déterminé par le produit τM, du moment magnétique M du barreau, par la composante horizontale τ de la force terrestre. Cette composante τ peut se définir, la masse magnétique qui, placée à l'*unité de distance*, aurait sur les aimants la même action que la terre.

Ces deux facteurs ne sont pas faciles à séparer. La durée d'une oscillation du barreau suspendu à un fil dont le couple de torsion est connu, donne une valeur du produit τM. Il faut donc trouver une autre équation entre ces deux éléments.

Gauss a indiqué une méthode qui donne expérimentalement le quotient $\frac{\tau}{M}$, de sorte qu'on peut calculer à la fois τ et M. La méthode de Gauss est facile à réaliser, et on peut la rendre très sensible, de sorte que les plus petits aimants produisent des déviations parfaitement mesurables.

Pour la réaliser, on fait agir sur une aiguille aimantée A, un barreau B placé normalement au méridien magnétique, et on observe la déviation qui en résulte. Pour avoir cette déviation, il faut faire trois lectures : d'abord placer le barreau B ; puis retourner le barreau sur lui-même, afin de corriger l'erreur occasionnée par l'inclinaison de la ligne des pôles ; puis remettre le barreau B dans la première position, afin d'éliminer la variation de la déclinaison. Enfin pour corriger les erreurs de la distance, il faut recommencer à droite la même série de lectures faites à gauche, en ayant soin de la faire en sens inverse, afin d'atténuer les variations de la déclinaison. Or chacune de ces trois séries de lectures exige un certain temps, environ deux à trois minutes, et pendant ce temps la déclinaison a varié d'une manière appréciable. Il faut donc surveiller les variations de la déclinaison, afin de pouvoir rejeter les observations trop irrégulières. On prend la position d'équilibre de l'aiguille A, en éloignant le barreau B, et on s'attache à faire toutes les lectures à des intervalles de temps aussi égaux que possible. On trace la courbe indiquant comment varie la déclinaison ; et si les positions d'équilibre déduites de la lecture des variations se trouvent sur cette courbe de déclinaison, on peut admettre l'observation.

Toutes ces lectures augmentent notablement la

durée de l'observation. En outre, on manie fréquemment l'aimant B, soit pour le tourner et le retourner, soit pour l'éloigner, soit pour le suspendre à son fil, afin de compter la durée de son oscillation sous l'action de la terre ; on risque d'échauffer légèrement ce barreau et par suite d'altérer son magnétisme : de sorte qu'on n'est pas absolument sûr que le barreau dont on compte la durée d'une oscillation ait conservé un moment magnétique identique à celui qu'il avait pendant son action sur A, d'autant plus que ces deux parties de l'observation sont forcément séparées par un grand intervalle de temps, afin de laisser revenir au repos le fil de suspension et l'air de la cage dans laquelle se fait l'oscillation.

Ces petites causes d'erreur sont négligeables dans les observations ordinaires, mais lorsqu'on veut obtenir une grande approximation, il faut en tenir compte et les atténuer le plus possible.

Une autre méthode, pour calculer le moment magnétique d'un barreau, a été indiquée par Poisson; elle consiste à mesurer la durée d'une oscillation de l'aimant A, d'abord sous l'action de la terre, puis sous l'action de la terre et du barreau B placé dans le méridien magnétique. Les résultats sont indépendants de la déclinaison. Mais, bien que les mesures du temps soient très précises, cette méthode n'est pas sensible, elle ne s'applique qu'à de forts aimants, et elle n'évite pas les maniements du barreau B, de sorte qu'on a toujours un doute sur la constance du moment de B. De plus cette observation est très longue.

Je m'était posé la condition de mesurer chacun des facteurs τ et M sans toucher aux aimants, par des observations assez rapides pour n'avoir pas à tenir

compte de la déclinaison. Je croyais arriver à ce but en mesurant la valeur de τ au moyen des courants, d'après une méthode qui a été indiquée par W. Weber et expérimentée en Allemagne par M. Kohlraush, et en France, par M. Cornu et moi en 1870.

Dans cette méthode, on mesure la déviation, sous l'action de la terre, d'un cadre suspendu bifilairement dans le méridien magnétique et traversé par un courant I. Cette déviation donne le produit $I\tau$. En même temps, on mesure l'intensité du courant par la boussole des tangentes, ce qui donne le quotient $\frac{I}{\tau}$.

De là, on déduit le terme τ. On porte ensuite ce facteur dans le produit connu τM, et on obtient le moment magnétique M. Cette méthode, très simple en apparence, donne malheureusement des résultats très peu précis, car la déclinaison ne varie pas de la même manière dans tous les appareils.

7° DÉCRÉMENT LOGARITHMIQUE

Ce nombre est obtenu par l'observation des élongations, lesquelles donnent les amplitudes qui forment une progression géométrique dont la raison est $Z = e^{-\alpha T}$.

(V. *Comptes rendus de l'Academie des sciences*, 4 mai 1878, note de MM. Cornu et Baille.)

Connaissant Z, on peut calculer le décrément logarithmique α, par la formule $\alpha = \frac{\log \frac{1}{z}}{T \log e}$.

On voit tout de suite que l'élément observé, Z, ne rentre que par son logarithme dans la formule défi-

nitive contenant $h=2\mu\alpha$. C'est là le défaut capital de la méthode de l'amortissement des aimants mobiles pour la détermination de l'ohm.

De la relation exponentielle précédente, on tire, en négligeant les quantités du second ordre,

$$\frac{dz}{Z} = -\,\mathrm{T}d\alpha.$$

ce qui indique que l'erreur relative commise sur Z produit sur α une erreur proportionnelle mais absolue.

Or, le nombre T ne peut pas être très grand, puisque les courants d'induction qu'il s'agit d'étudier dépendent de la vitesse de l'aimant, c'est-à-dire sont d'autant plus forts que T est plus petit.

La valeur de Z elle-même est très rapprochée de l'unité (dans ces expériences Z est toujours resté entre 0,90 et 1), par la nécessité de donner au cadre induit de grandes dimensions.

La mesure de Z se fait facilement au demi-millième. Quand les oscillations sont très bonnes, avec un barreau de cuivre, par exemple, on atteint nettement le dix-millième; mais avec un aimant pour lequel les perturbations sont à la fois plus nombreuses et plus difficiles à éviter, il est nécessaire de se contenter d'une approximation moindre, et encore faut-il pour cela ne pas se tromper d'une unité dans l'estime des lectures.

Une échelle de verre, placée à environ 6 mètres, est divisée en millimètres. La lunette (*) qui reçoit les

(*) Avec un pareil grossissement, il semble qu'on aurait pu prendre une échelle divisée en dixièmes de millimètre, et estimer le centième : mais à cause de la rapidité de l'oscillation (T variant de 7 à 30 secondes), l'observation aurait été très difficile pour ne pas dire impossible.

rayons réfléchis par le miroir de l'aimant a un grossissement environ 80; l'estime porte donc seule sur les 1/10 de millimètre, et, pour avoir l'approximation indiquée, il ne faut pas se tromper une seule fois dans l'estime pendant la durée de l'observation.

On peut donc admettre que l'erreur absolue commise sur α est le demi cent millièmes (en faisant $T=10^s$). Mais comme α est un nombre très petit, ce demi cent millièmes fait une erreur relative très grande. Ainsi en prenant $\alpha=0,0025$, l'erreur relative commise est le 1/50 (*).

Et on peut vérifier ces considérations sur les nombres donnés comme un exemple de bonnes oscillations. En prenant pour Z les valeurs extrêmes, dont l'erreur relative n'est en moyenne que le 3/10 000.

(*) Exemple de bonnes oscillations (oscillation d'un barreau aimanté, le 22 juillet 1883, à circuit ouvert).

$\mu=4\,199,16$ $T=17^s73.$

		51,43		Z
	2,68		20	0.9959
18		51,28		59
	2,86		19	61
20		51,09		65
	3,06		18	62
17		50,91		58
	3,23		17	64
19		50,74		60
	3,62			

Position d'équilibre : 27,195.

L'un des côtés est moins bon que l'autre à cause de la variation de la déclinaison. Cette observation du 22 juillet est particulièrement intéressante. Elle se prolonge pendant très longtemps, plus d'une heure, avec la même régularité, malgré des circonstances atmosphériques très mauvaises. (Au moment de l'observation : vent, grains de pluie, rayons de soleil, etc.)

$Z = 0{,}9958$	$Z = 0{,}9965$
$\alpha = 0{,}0002374$	$\alpha = 0{,}0001978$
$h = 1{,}9936$	$h = 1{,}6602$

Il en est de même si l'on diminue le rapport des amplitudes Z (circuit fermé, même jour, suite de l'observation précédente).

$Z = 0{,}9902$	$Z = 0{,}9902$	$Z = 0{,}9892$
898	$\alpha = 0{,}0006284$	$\alpha = 0{,}0005669$
900	$h = 5{,}2776$	$h = 4{,}7606$
892		
894		
893		
899		
895		

Tant que α restera aussi petit cette méthode si simple en apparence ne pourra pas conduire à des résultats satisfaisants. Tous les efforts doivent donc se porter à augmenter ce nombre α. Je vais passer en revue les circonstances qui influent sur Z, et chercher celles qui conviennent le mieux à ce genre d'étude.

Le nombre $H = 2\mu\alpha$, qui entre dans l'équation différentielle du mouvement, est une somme de moments de quantité de mouvements. Il contient toutes les résistances proportionnelles à la vitesse; il est, par conséquent, composé de deux termes, l'un, h, constant pour un même mobile et dans les mêmes circonstances atmosphériques; l'autre, h, dû à la réaction des courants induits sur l'aimant mobile. — On ne peut mesurer h que par la différence $H - h'$.

1° Le nombre h' doit donc être mesuré avec autant de soin que la somme H. Il contient la résistance que l'air oppose au mouvement et qui dépend de la forme du mobile, des dimensions de la cage enveloppante, ainsi que des conditions de température, pression,

hygrométrie, etc., de l'air environnant. Il contient encore cette résistance spéciale, dépendant de l'inertie du système, et qui a pour effet de rendre le mouvement à la fois plus lent à établir et plus lent à éteindre. Il est inutile, ici du moins, de séparer ces différents termes composants.

Je me suis assuré précédemment (*Journal de l'École polytechnique*, 1883) que le nombre h' étant indépendant du poids tenseur et de la vitesse du mobile, au moins dans les limites de mes expériences; que le fil de torsion lui-même n'avait d'influence sur h' que par la durée T de l'oscillation; et que la nature de la surface mobile (polie ou rugueuse) était également indifférente.

On n'a donc que deux moyens pour faire varier h' : ou bien modifier la surface du mobile en laissant le moment d'inertie constant, ou bien modifier le moment d'inertie en laissant invariable la surface du mobile. Mon appareil, dans les expériences d'essai, était disposé de façon à recevoir facilement ces deux modifications. Le système suspendu se composait d'un étrier renfermant le barreau aimanté, d'un miroir et d'un petit tube de cuivre assez long, supportant deux sceaux en cuivre. Quand on mettait dans les sceaux des disques en plomb, on augmentait le moment d'inertie sans modifier la surface; et quand on adaptait à l'extrémité du tube de larges disques faisant ailettes (disques à frottement), on augmentait le frottement de l'air, et on rétablissait le moment d'inertie en supprimant des poids convenables.

Ces études préliminaires ont montré qu'il valait mieux diminuer h' le plus possible. La détermination de h' paraît se faire également bien dans tous les cas; mais

lorsque la surface oscillante est large, les variations des conditions ambiantes prennent une importance très grande, et les causes d'erreur s'accroissent par cela même.

Toutes ces remarques s'appliquent aussi bien à l'oscillation du barreau de cuivre qu'à celle d'un aimant dans un circuit ouvert. Mais dans ce dernier cas, le nombre h' contient en outre un terme dépendant du moment magnétique du barreau. Il est, en effet, naturel de penser que l'aimant, entouré de tous côtés de corps plus ou moins conducteurs, et communiquant avec le sol, développe dans ces corps environnants des courants induits plus ou moins intenses, lesquels, par leur réaction, occasionnent une résistance au mouvement.

Dans mon appareil, l'aimant oscillant au centre de la bobine dont le revêtement intérieur était fermé par une feuille de carton, était entouré de corps peu conducteurs ; et l'effet que je signale n'était pas nettement visible. Cependant le décrément logarithmique était plus fort pour les aimants que pour les barreaux de cuivre de même inertie et de même surface, comme on peut le voir par l'observation suivante (23 mars 1884).

	μ	T	θ	M	h'
Aimant A.	5084,1	8,223	7°,3	1872,7	4,224
Aimant B.	5080,8	8,468	7°,9	1657,5	3,148
Cuivre.	5182,6	11,604	8°,4	»	2,979

2° Le coefficient h, qui ne dépend que des actions magnétiques, doit être augmenté le plus possible, soit par la diminution du rayon du cercle induit, soit par

l'accroissement du moment magnétique du barreau oscillant.

Le rayon du cercle induit est fixé une fois pour toutes par des nécessités de contraction et d'usage. On ne peut pas le diminuer beaucoup, car l'aimant oscillant doit pouvoir être considéré comme ayant ses deux pôles réunis au centre; et de plus, le fil de suspension étant entièrement enfermé dans la bobine, doit présenter une certaine longueur, afin que les oscillations soient régulières et pendulaires.

De même, il est difficile d'abandonner la forme circulaire, pour laquelle le calcul est simple. On pourrait certainement obtenir des amortissements plus rapides en prenant des circuits induits différents. J'ai essayé d'abord un cadre rectangulaire. Les fils tendus parallèlement à l'aimant formaient un plan indéfini au-dessus et au-dessous du barreau; l'amortissement des oscillations étant d'autant plus grand que la distance de l'aimant aux plans était plus petite; mais cette distance était difficile à mesurer avec exactitude, et comme elle était très faible, les erreurs devenaient aussitôt très importantes.

J'ai essayé également une bobine creuse, dans laquelle l'aimant oscillant se déplaçait suivant l'axe de la bobine. Cette disposition pouvait supporter des aimants très longs, et par conséquent très forts, puisque chaque pôle était entouré de sa bobine particulière. Mais ici le calcul n'était pas simple, et on était obligé de supposer des conditions matérielles qui n'étaient pas toujours remplies, comme la ligne des pôles de l'aimant placée dans l'axe de la bobine.

Ces deux dispositions pourront être reprises avec avantage pour certains résultats particuliers; mais je

ne pense pas qu'il faille les employer pour la détermination d'une unité fondamentale comme celle dont je m'occupe ici.

Il n'y a donc pour augmenter h, qu'à prendre des barreaux aimantés d'un moment magnétique le plus grand possible. J'ai essayé un très grand nombre de barreaux ; mais aucun ne présentait un moment magnétique très considérable. Je ne pouvais pas en effet prendre des barreaux d'une longueur dépassant 10 centimètres, et cette condition empêchait d'avoir un puissant moment magnétique. Les plus puissants que j'ai eus à ma disposition m'ont été fournis par M. de Méritens, qui a étudié d'une manière si complète tout ce qui se rapporte à la fabrication industrielle des aimants, et qui a bien voulu employer son expérience en ma faveur. Ce sont les quatre barreaux qui m'ont servi dans les mesures définitives.

Quoiqu'il en soit le nombre h varie très rapidement avec le moment magnétique du barreau oscillant.

Le tableau suivant contient le résultat de quelques observations. La première colonne indique le nom de l'aimant ; la deuxième colonne, les dimensions de cet aimant ($2\,l$ longueur totale, a côté du carré de base) ; la troisième colonne, le moment magnétique, mesuré par la méthode de Gauss ; les colonnes suivantes les coefficients d'extinction H, h' puis enfin $h = \mathrm{H} - h'$.

Comme ces aimants oscillaient tous dans la même bobine, le rapport $\frac{\mathrm{M}^2}{h}$ devrait rester constant, car il est proportionnel à la réaction de cette bobine.

Enfin, dans une dernière colonne, sont indiquées quelques particularités de l'observation.

Variations de h avec le moment magnétique du barreau M.

		M	H	h'	h	M^2	$\frac{M^2}{h}$		
n_2	Petit barreau. $2l = 3^c,5$ $a = 1^c,0$	64	1,75	1,20	0,55	4.096	74.500		
n_1	» »	80	1,94	1,24	0,70	6.400	91.400		
s_2	» »	100	1,86	1,11	0,75	10.000	133.300		
$s_1 + n_1$	» »	168	2,78	1,88	0,90	28.224	31.300	Juxta-position de deux barreaux égaux.	
b	Faisceaux de lames aimantées	314	3,73	1,87	1,86	98.596	53.000		
b	$2l = 7^c,0$ $a = 1^c,0$	324	7,85	6,17	1,68	104.976	62.500	Disques à frottement.	
a	» »	368	8,33	5,86	2,47	135.424	54.800	»	
a	» »	372	4,13	1,97	2,16	138.384	64.060		
q	Barreaux. $2l = 7^c,0$ $a = 1^c,0$	375	4,26	1,87	2,39	140.625	58.840		
q	» »	389	9,07	6,41	2,66	151.321	56.890	Disques à frottement.	
p	» »	451	5,49	2,14	3,35	205.700	61 700		
p	» »	470	12,21	8,51	3,70	221.700	59.900	Disques à frottement.	
B	$2l = 10^c,05$ $a = 1^c,16$	1654,5	52,964	6,781	46,184	2.724.677,5	58.996,4	$\theta = 12^\circ,7$	Expériences définitives.
A	» »	1872,6	67,043	7,606	59,437	3.507.054,7	59.004,4	$12^\circ,9$	
N	$2l = 8^c,04$ $a = 2^c,55$	1825,1	57,845	3,820	57,845	3.330.878,5	57.583,2	$5^\circ,4$	
M	» »	2040,1	75,647	3,775	71,873	4.162.135,9	57.909,9	5,01	

Ce tableau montre bien que le coefficient h est appréciable, même pour les aimants les plus faibles ; mais il n'est vraiment bien déterminé que pour les forts moments magnétiques.

Ce tableau montre également que la valeur de *h* n'est pas atteinte par la variation des moments d'inertie des pièces suspendues avec l'aimant ; comme ce fait présente une importance capitale pour la sûreté de ces études, je l'ai établi plus directement dans le tableau suivant où le même aimant *p* du tableau précédent, oscillait avec différents moments d'inertie. Le nombre *h* ne reste pas absolument constant, car ces nombres ont été obtenus à plusieurs jours d'intervalle, et dans des conditions atmosphériques différentes ; mais les écarts ne correspondent aucunement avec les variations de μ. De plus le nombre H reste également assez constant, la variation de μ étant obtenue par l'addition de poids dans les sceaux : et comme $H = 2\mu\alpha$, tant que la forme reste invariable, le produit reste constant.

Constance de *h* avec le moment d'inertie μ.

μ	3975,8	2678,8	1334,9	Disques à frottement. 2100,2	2101,1
M	446	451	451	470	454
T	$16^{s},357$	$13^{s},369$	$9^{s},417$	$11^{s},675$	$11^{s},832$
α de H	0,0007034	0,0010288	0,0020175	0,0029079	0,0013065
H	5,593	5,500	5,386	12,214	5,490
h'	2,144	2,165	2,066	8,511	2,137
h	3,449	3,335	3,320	3,703	3,353
$\frac{M^2}{h}$	57 400	61 700	60 500	59 900	61 700

Voici enfin, pour établir le même fait, une observation obtenue avec les aimants définitifs, et dans laquelle la variation du moment d'inertie est bien plus grande.

Le même aimant, M, oscillait dans la bobine, à quelques heures d'intervalle, le même jour. Il faut observer ici que la variation du μ étant obtenue par le déplacement de poids en plomb le long d'une tige, la forme du système changeait, et par conséquent H.

μ	6511,9	48570,4
T	$9^s,114$	$24^s,942$
α de H	0,0055819	0,00082003
H	72,698	79,658
h'	3,132	10,046
h	69,566	69,612

Il résulte de ces tableaux que la variation de vitesse de l'aimant oscillant n'a aucune influence sur h. La démonstration directe de ce fait serait assez difficile à établir : car la décroissance des amplitudes, seul élément que l'on mesure pour avoir $Z = e^{-\alpha T}$, est soumise à un grand nombre de causes perturbatrices. En supposant même que les oscillations soient très régulières et très calmes, la variation de la déclinaison occasionne une décroissance d'amplitude plus rapide d'un côté que de l'autre.

La position d'équilibre de l'aimant se déplace, et les amplitudes forment deux progressions géométriques différentes, l'une à droite, l'autre à gauche de ce point d'équilibre, ayant chacune leur raison particulière. Les différents nombres Z obtenus successivement ne sont donc pas constants, ils sont, l'un trop fort, le suivant trop faible. Il peut même arriver qu'une

amplitude soit plus grande que la suivante, si cette amplitude est assez faible pour que la variation de déclinaison l'emporte sur la décroissance régulière.

Pour avoir une bonne valeur de Z, il est donc nécessaire de prendre une amplitude assez grande et de considérer un nombre *impair* d'élongations.

Pour démontrer que h ne dépend pas de la vitesse d'oscillation, il faut donc se borner à considérer que la durée de l'oscillation T est indifférente. J'ai essayé cependant de démontrer directement ce fait en prenant le nombre Z avec différentes amplitudes, observation rapportée dans le tableau suivant.

Le nombre Z est la moyenne de quatre nombres, obtenus par la lecture de cinq élongations successives, l'amplitude rapportée est l'amplitude initiale.

Amplitude : 51^c,28	$Z = 0{,}95250$	$\mu = 6\,511{,}9$
26^c,05	95248	$T = 9^s{,}209$
12^c,59	95265	
6^c,71	95280	

On voit que les dernières valeurs sont moins bonnes que les premières ; si les nombres Z paraissent augmenter, cela tient uniquement à la variation de la déclinaison qui se trouvait avoir une telle influence à ce moment, car dans d'autres occasions, les nombres paraissaient diminuer.

En résumé, le nombre h' doit être diminué le plus possible par un choix convenable de la durée T d'une oscillation et de la forme du système oscillant ; le nombre H doit au contraire être augmenté le plus possible, en prenant un moment magnétique suffisant ; il faut mesurer ce nombre avec des amplitudes assez grandes et considérer toujours un nombre pair d'amplitudes.

8° PERTURBATIONS

Pour toutes ces études, il est nécessaire que les mouvements observés soient bien réguliers et soustraits à toutes les perturbations possibles.

Or, quand on observe les élongations successives d'un corps oscillant, l'amplitude, c'est-à-dire la différence de ces élongations, diminue peu à peu et tend à devenir nulle. Les élongations de chaque côté se rapprochent du milieu de l'oscillation : c'est une double courbe exponentielle ayant pour asymptote la droite correspondant à la position d'équilibre; les élongations diminuent des deux côtés à la fois, celles du côté pair, par exemple, diffèrent l'une de l'autre d'une petite quantité qui va en décroissant plus ou moins lentement. C'est cette petite quantité, différence entre deux élongations successives d'un même côté, qui permet de surveiller le mouvement et de découvrir la perturbation.

En effet, une perturbation se traduit toujours par une variation de vitesse du mobile. C'est un ébranlement, transmis par l'air, par le support de l'appareil, par le fil, et qui fait l'effet d'un choc ou plutôt d'une série de chocs. La vitesse augmente ou diminue brusquement, et l'élongation se trouve rejetée hors de sa vraie place. Le choc ne se renouvelant pas aussitôt, la position d'équilibre autour de laquelle se fait l'oscillation, revient rapidement à sa place; et les élongations recommencent une nouvelle progression géométrique, de même raison que la première.

C'est donc la différence des élongations d'un même côté qui, par ses irrégularités, met en évidence les perturbations.

De ce qu'un accident quelconque se manifeste par une variation de la quantité de mouvement du corps oscillant, il résulte que ces accidents seront d'autant moins perturbateurs que la quantité de mouvement sera plus grande. Il ne faut donc pas craindre d'augmenter le moment d'inertie du corps oscillant et de lui donner une vitesse très appréciable, quel que soit l'élément qu'il s'agisse de mesurer, soit la durée d'une oscillation, soit la déviation, il importe de rendre les perturbations aussi peu efficaces que possible. On peut même les rendre absolument négligeables, si on peut prendre des amplitudes très grandes, ce qui n'a aucun inconvénient dans la mesure du temps.

L'effet de ces perturbations étant connu, il importe de chercher les meilleures dispositions pour s'en garantir. On peut considérer deux sortes de perturbations, celles qui atteignent un corps oscillant quelconque et les perturbations uniquement magnétiques :

1° Les premières sont purement accidentelles, et les précautions ordinaires de toute balance de torsion suffisent pour s'en garantir. Il faut se placer sur un sol bien stable et fixer solidement le point d'attache supérieur du fil. Le système suspendu au fil doit également être dans une position d'équilibre stable, et le miroir, placé le plus près possible sur l'axe d'oscillation, au-dessus du centre de gravité du système suspendu.

La cage dans laquelle se fait l'oscillation, doit être fermée, et assez étroite pour qu'il ne se produise pas de mouvements dans l'air intérieur. Aussitôt qu'il y a une différence de température entre deux points, il y a courant d'air ; il faut donc entourer la cage de corps

peu conducteurs de la chaleur, doubles enveloppes, laine, etc.

De même, il faut que la cage soit formée de corps conducteurs de l'électricité, et qu'elle communique soigneusement avec le sol; car s'il s'établit une différence de potentiel entre un point de la cage et le levier suspendu, celui-ci est attiré et la position d'équilibre est changée.

2° Les perturbations qui atteignent les oscillations d'un barreau aimanté sont toutes celles du magnétisme terrestre. Elles se traduisent encore (*) comme les précédentes, par une augmentation ou une diminution de vitesse, mais il est bien plus difficile de s'en garantir.

Ces perturbations magnétiques sont de deux sortes : les unes dues aux circonstances atmosphériques, qu'on ne peut ni éviter ni prévoir; et les autres dues à la présence et surtout au déplacement accidentel des masses de fer dans le voisinage de l'appareil. Pour éviter ces dernières perturbations magnétiques, j'ai fait construire un observatoire loin de Paris, au milieu des champs, à Crosne, près Villeneuve-Saint-Georges (Seine-et-Oise). Les masses de fer les plus rapprochées sont une serre placée à 150 mètres N., et une

(*) Effet d'une perturbation magnétique. *Oscillation de l'aimant* p, *le* 25 *juillet* 1883, *à circuit ouvert.*

	Élongations lues.			Z
	14,01			0,9879
37		44,52		9930
	14,38		21	9883
45		44,31		9858
	14,73		42	1,0051
— 15		43,89		0,9962
	14,58		11	9829
50		43,78		9643
	15,08		6	
		43,72		

habitation dont les poutres et la charpente sont en fer, à 300 mètres N.-O. La construction a été surveillée très sévèrement, et les matériaux employés sont de la maçonnerie, du bois et du cuivre. C'est dans ce pavillon magnétique, loin de toutes perturbations accidentelles, que j'ai fait les observations et les mesures qui font l'objet de ce travail.

Ces observations ne sont donc soumises qu'aux perturbations atmosphériques ; et, lorsqu'elles se produisaient le plus sage était de rejeter complètement l'observation. Puis, lorsque la perturbation est passée, les vents, la pluie, l'orage n'ont plus d'effet sur l'aiguille aimantée : l'observation du 22 juillet dont j'ai rapporté un passage en est une preuve.

Il faut bien se garder de confondre les influences calorifiques et les perturbations magnétiques. Pendant la matinée, au moment où la température de l'observatoire, refroidie par le rayonnement nocturne, s'élève peu à peu, les oscillations sont souvent mauvaises. Mais c'est un effet occasionné par des déplacements d'air, car il est aussi visible sur les oscillations du barreau de cuivre que sur celles d'un aimant.

Bien que j'eusse pris toutes les précautions possibles pour éviter les perturbations dues au mouvement accidentel des masses de fer, il s'est produit dans mon nstallation une perturbation de ce genre qu'il est intéressant de signaler. Au S. de mon observatoire, à près d'un kilomètre (950 mètres), passe la grande ligne du chemin de fer de Paris à Lyon. Il y a même une station à environ 1.500 mètres S.-E. Dans cette partie de a ligne, l'orientation de la voie est à peu près celle de l'est-ouest magnétique, et la voie est également à peu près au niveau de mon observatoire de l'autre

côté de la vallée de l'Yerres. Malgré la distance, le passage des trains occasionne des perturbations sensibles sur les aimants suspendus. Ces aimants étaient déviés de quelques millimètres (maximum observé 1 centimètre), dans un sens ou dans l'autre suivant le sens et la nature des trains perturbateurs.

Il se produisait là un effet analogue à celui que l'on obtiendrait en déplaçant dans l'expérience des aimants croisés de Gauss, l'aimant ordinairement fixe. La déviation était changée, le décrément logarithmique était perturbé, la durée d'une oscillation elle-même variait de quelques centièmes de secondes; et il était nécessaire d'attendre l'éloignement du train. Mais combien on doit faire attention dans les observatoires placés au milieu des villes, où le mouvement des outils, le passage des voitures, etc., se font si près de l'appareil!

QUELQUES MOTS
SUR LA TÉLÉGRAPHIE A PARIS
AU 1er JANVIER 1884

Le nombre des bureaux télégraphiques ouvert au public à Paris est en ce moment de 91.

Tous sont reliés directement au poste central par un réseau de communications électriques dont la longueur est de 1.304k,602.

En outre, 76 d'entre eux ont à leur disposition un réseau de tubes pneumatiques qui sera complètement terminé à la fin de l'année courante, et qui présente déjà un développement de 140 kilomètres.

En 1883, le nombre des dépêches transportées par les tubes pneumatiques a été de 9.956.015.

L'exploitation de ce réseau spécial comporte l'emploi d'une force motrice de 315 chevaux répartis dans 8 ateliers.

Elle occasionne une dépense annuelle de 744.074f,62, dont 374.205f,03 pour main-d'œuvre et 369.869f,59 pour frais généraux, force motrice, loyer des bâtiments, fournitures de boîtes et courroies de transmission.

Si l'on ne tient pas compte du capital de premier établissement, chaque dépêche revient donc à 0f,075.

Outre les 1.304k,602 de fils dont j'ai indiqué ci-dessus l'affectation, le réseau souterrain de Paris comprend :

5.495k,082 de conducteurs aboutissant tous au poste central et desservant la province et l'étranger;

Et 1.106k,434 de fils qui constituent le réseau municipal de la Ville de Paris.

Pendant l'année 1883, le poste central a effectué

13.657.131 transmissions (chaque dépêche de transit étant comptée pour deux transmissions).

Son personnel se compose de 1.045 agents ou sous-agents, dont les traitements fixes, émoluments éventuels et salaires, se sont élevés, pour l'année 1883, à 1.891.789f,09.

A quoi il convient d'ajouter, pour avoir le chiffre complet des dépenses spéciales à ce bureau, les frais de chauffage et d'éclairage, de forces motrice des turbines, d'entretien des piles et de loyer, soit une somme approximative de 150.000 francs par an.

Ainsi, abstraction faite des dépenses de premier établissement et d'entretien des lignes dont dispose le poste central, et de son propre établissement, chaque transmission y coûte un peu moins de 0f,15.

Le réseau municipal, dont la longueur a été donnée plus haut, dessert 366 postes principaux ou d'appels répartis comme il suit entre divers services :

DÉSIGNATION DES SERVICES.	POSTES principaux avec appareils de transmission.	POSTES d'appels ou avertisseurs d'incendie.	TOTAUX.
Service des eaux, machines et assainissement. .	44	»	44
Préfecture de la Seine.	22	26	48
Assistance publique	31	»	31
Police municipale et pavillons de secours. . . .	23	18	41
Prisons et première division.	10	»	10
Sapeurs-pompiers.	133	59	192
			366

Paris, 23 février 1884.

E. CAEL.

ÉTUDE SUR LA TÉLÉPHONIE

(Suite.)

Installation d'un poste téléphonique à direction unique sur ligne double.

Cette installation (*fig.* 51) ne diffère de la précédente qu'en ce que, la ligne étant composée de deux fils, l'un d'eux sert de fil de retour et remplace le fil de terre.

Si la ligne est aérienne il est nécessaire de placer, en X et en Y, un paratonnerre sur chacun des deux fils.

La manœuvre d'un appareil sur ligne double s'exécute de la même manière que sur ligne simple.

L'emploi de deux fils de ligne a pour but, ainsi qu'on le verra plus loin, de supprimer dans les téléphones les bruits causés par l'induction des fils voisins. Mais il présente plus de chance de dérangement que l'emploi d'un fil unique, attendu que si les deux fils viennent à se mêler entre eux la communication téléphonique devient complètement impossible.

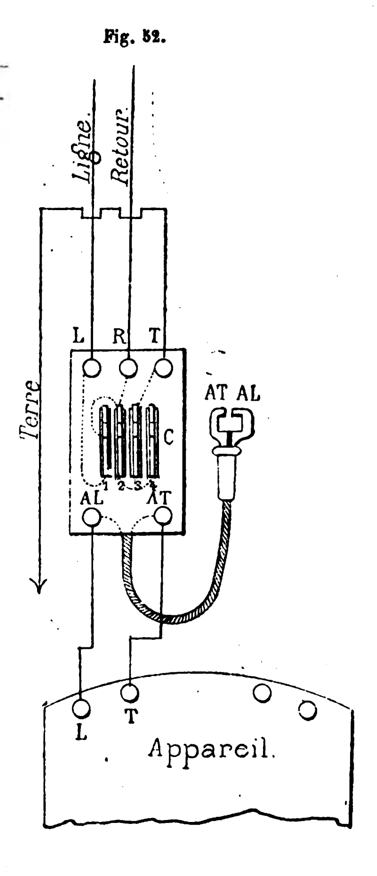
On obvie à cet inconvénient, dans une certaine mesure en réunissant, en cas de mélange, les deux fils de ligne sur la borne L de l'appareil et en mettant la borne T à la terre.

A cet effet on se sert d'un commutateur C à quatre crochets et à clé double (*fig.* 52).

La borne L de ce commutateur est reliée au crochet 1

Fig. 51.

Fig. 52.



qui, seul, a un butoir. La borne R est reliée au butoir du premier crochet, au crochet 2 et au crochet 4. La borne T est reliée au crochet 3. La borne AL est reliée au piton AL, et, la borne AT, au piton AT de la clé double.

L'installation de ce commutateur étant faite comme

à la *fig.* 52, si l'on place la clé sur les crochets 1 et 2, le courant de la ligne vient à la borne L de l'appareil en passant par le crochet 1, le piton AL de la clé et la borne AL du commutateur. Le fil de retour aboutit à la borne T de l'appareil par la borne R du commutateur, le crochet 2, le piton AT de la clé et la borne AT du commutateur.

Si, au contraire, l'on place la clé sur les crochets 3 et 4 du commutateur, le fil de ligne et le fil de retour, réunis par le contact du crochet 1 sur son butoir qui communique au crochet 2, sont reliés à la borne L de l'appareil par le crochet 4, le piton AL de la clé et la borne AL du commutateur. La borne T de l'appareil est mise à la terre par la borne AT du commutateur, le piton AT de la clé, le crochet 3 et la borne T du commutateur.

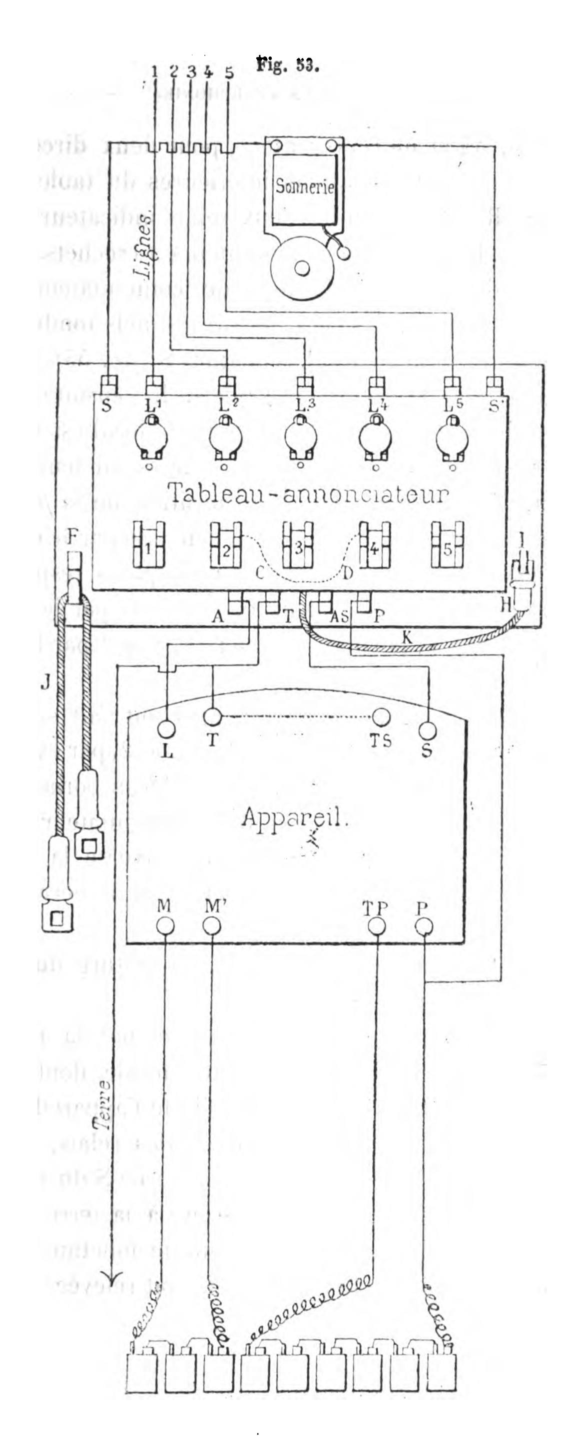
Installation d'un poste téléphonique à plusieurs directions sur lignes simples avec appareil ordinaire.

Cette installation (*fig.* 53) comprend, outre l'appareil et la sonnerie, un tableau annonciateur d'autant de relais indicateurs et de commutateurs à deux crochets qu'il y a de lignes à desservir.

En I, sur le tableau annonciateur est fixé un crochet de commutateur, isolé de toute communication, sur lequel on place au repos la clé H qui communique à l'intérieur du tableau par le conducteur du cordon souple K.

En F est un crochet sur lequel on place un ou plusieurs cordons souples à deux clés comme celui que l'on voit en J et qui sert à établir la communication directe entre deux lignes aboutissant au tableau annonciateur.

Fig. 53.



1 2 3 4 5
Lignes
Sonnerie
S
L1
L2
L3
L4
L5
S'
Tableau-annonciateur
1
2
3
4
5
C
D
F
I
H
A
T
AS
P
K
J
L
T
TS
S
Appareil.
M
M'
TP
P
Terre

Les *fig.* 54 et 55 représentent, pour deux directions, les pièces et communications intérieures du tableau indicateur. R^1 et R^2 sont les deux relais indicateurs. B et B' sont les boulons des commutateurs à crochets. C est le butoir du crochet de gauche des commutateurs. Les vis S (*fig.* 54) sont les contacts sur lesquels tombent les portières des indicateurs. Les plaques S (*fig.* 55) servent de contact aux armatures des relais. Il s'ensuit qu'avec la disposition de la *fig.* 54, le courant local est envoyé sur la sonnerie par la chute des portières sur leur vis de contact. Tandis que, avec la disposition de la *fig.* 55, le courant local est envoyé sur la sonnerie par le contact des armatures des relais sur leur plaque S respective.

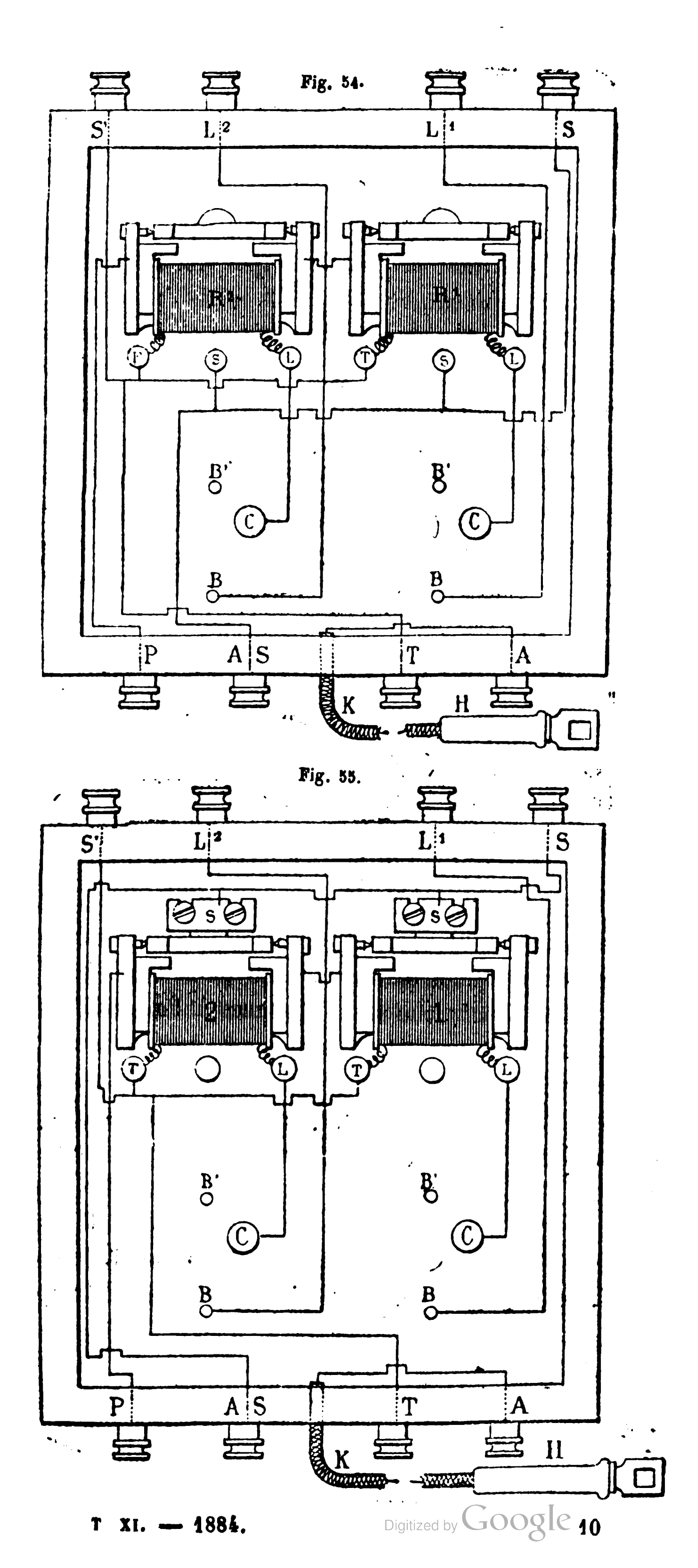
Nous désignerons ces deux dispositions par les noms de : appel par la portière (*fig.* 54) et appel par l'armature (*fig.* 55).

Supposons maintenant qu'un appel soit fait sur l'une des lignes aboutissant au tableaula, ligne 2, par exemple.

Le courant arrivant par la ligne 2 à la borne L^2 du tableau, passe par le boulon B du commutateur 2, son crochet de gauche et son butoir C ; traverse la bobine du relais 2 et va se perdre à la terre par la borne T du tableau.

Pendant le passage du courant, l'armature du relais est attirée et la portière tombe.

Si le montage est fait pour l'appel par la portière (*fig.* 54), le courant positif de la pile locale, dont le pôle négatif est à la terre par la borne TP de l'appareil, passe par la borne P du tableau, le massif des relais, la portière du relais 2, sa vis butoir S, la borne S du tableau; traverse la sonnerie et va se perdre à la terre par les bornes S' et T du tableau. La sonnerie fonctionne alors jusqu'à ce que la portière du relais soit relevée.


Fig. 54.
S'
L2
L1
S
R2
R1
T
S
L
T
S
L
B'
B'
C
C
B
B
P
A
S
T
A
K
H
Fig. 55.
S'
L2
L1
S
S
S
2
1
T
L
T
L
B'
B'
C
C
B
B
P
A
S
T
A
K
H

Si le montage est fait pour l'appel par l'armature (*fig.* 55), le courant positif de la pile locale passe par la borne P du tableau, le massif des relais l'armature du relais 2, sa plaque butoir S, la borne S du tableau ; traverse la sonnerie et va se perdre à la terre par les bornes S' et T du tableau. La sonnerie ne fonctionne alors que pendant le temps du passage du courant de la ligne dans le relais.

Dès que l'opérateur est averti, il enlève la clé H du crochet de repos I et la place sur le crochet gauche du commutateur 2. Le contact de ce crochet avec son butoir C est rompu par la clé, et la ligne se trouve en communication avec l'appareil, en passant par la borne L^2 du tableau, le boulon B et le crochet gauche du commutateur 2, la clé H, le cordon souple K, la borne A du tableau et la borne L de l'appareil. A ce moment, l'opérateur relève la portière ; il peut alors répondre à son correspondant et communiquer avec lui de la même manière qu'il a été expliqué pour la manœuvre d'un poste à direction unique.

Supposons maintenant que le correspondant demande à communiquer avec un autre, celui de la ligne 4.

L'opérateur accroche ses téléphones à l'appareil, enlève la clé H du crochet de gauche du commutateur 2, place sur le crochet de droite de ce même commutateur, une des clés du cordon souple J ; puis il met la clé H du cordon K sur le crochet de gauche du commutateur 4. La ligne 4 se trouve ainsi en communication avec l'appareil par la borne L^4 du tableau, le boulon B et le crochet de gauche du commutateur 4, la clé H, le cordon K, la borne A du tableau et la borne L de l'appa-

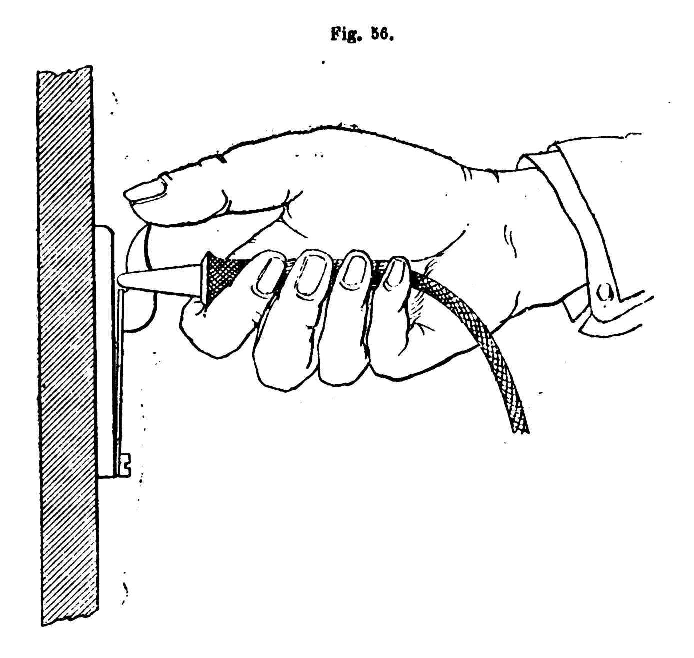
reil. L'opérateur appelle alors le correspondant de la ligne 4 en appuyant sur la clé d'appel de l'appareil. Lorsque ce dernier a répondu, l'opérateur décroche les téléphones, les porte à ses oreilles et lui dit de communiquer avec le correspondant de la ligne 2. Il enlève aussitôt la clé H du crochet de gauche du commutateur 4 et y substitue la clé libre du cordon J. Puis il replace la clé H sur son crochet de repos I. Les lignes 2 et 4 sont alors en communication directe par le conducteur du cordon souple J à deux clés dont l'une est placée sur le crochet de droite du commutateur 2, et l'autre sur le crochet de gauche du commutateur 4, comme l'indique le pointillé CD. Mais en même temps, le crochet de gauche du commutateur 2, qui reste sur son contact, dérive à la terre ces deux lignes à travers le relais 2.

La résistance des relais étant suffisante, cette dérivation ne nuit pas à la communication téléphonique des deux postes ainsi reliés. D'autre part les courants téléphoniques ayant très peu d'énergie n'ont aucune action sur le relais indicateur placé en dérivation.

Quand les deux correspondants ont cessé de parler, ils accrochent leurs téléphones et, pour indiquer au poste intermédiaire que la conversation est terminée, ils appuient sur la clé d'appel. Le courant ainsi envoyé de l'une ou de l'autre ligne, vient au tableau annonciateur, passe par le crochet de gauche du commutateur 2 et son butoir, dans le relais 2 et se perd à la terre. L'armature du relais est attirée ; la portière tombe et annonce à l'opérateur que la conversation est terminée. Celui-ci relève la portière, enlève le cordon J des commutateurs 2 et 4 et le suspend au crochet porte-cordons F.

Il convient d'insister sur ce point, qui ressort de la manœuvre expliquée ci-dessus, que quand on établit la communication directe entre deux correspondants, il est indispensable de laisser en dérivation le relais indicateur de l'un d'eux, afin d'être averti de la fin de la conversa-

Fig. 56.

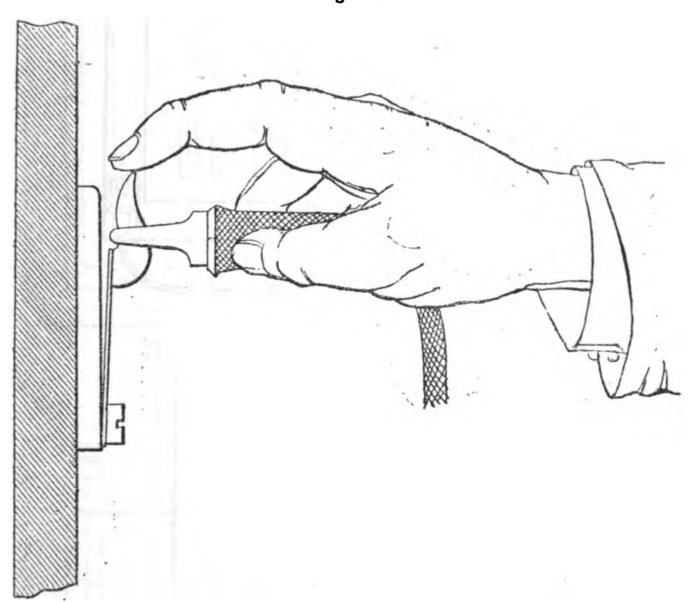


tion. A cet effet, l'une des clés du cordon souple mobile doit être placée sur le crochet de droite du commutateur du premier correspondant, de façon à laisser le crochet de gauche sur son contact ; l'autre clé du cordon mobile se place au contraire sur le crochet de gauche du commutateur du deuxième correspondant.

La manœuvre de la clé de cordon souple se fait très facilement. Il suffit, pour la placer sur un crochet, de l'y enfoncer franchement jusqu'à refus.

Pour retirer la clé il faut placer le pouce sur le bec du crochet (*fig.* 56), et soulever la clé avec les autres doigts. Ou bien, au lieu du pouce, on peut placer l'index sur le bec du crochet (*fig.* 57), et soulever la clé avec le pouce et les autres doigts.


Fig. 57.



Installation d'un poste téléphonique à plusieurs directions sur lignes doubles avec appareil ordinaire.

La différence de cette installation, représentée *fig.* 58, avec la précédente, consiste dans la disposition du tableau annonciateur.

A chaque relais-indicateur, correspondent un commutateur à trois crochets et deux bornes L et R auxquelles

Fig. 58.

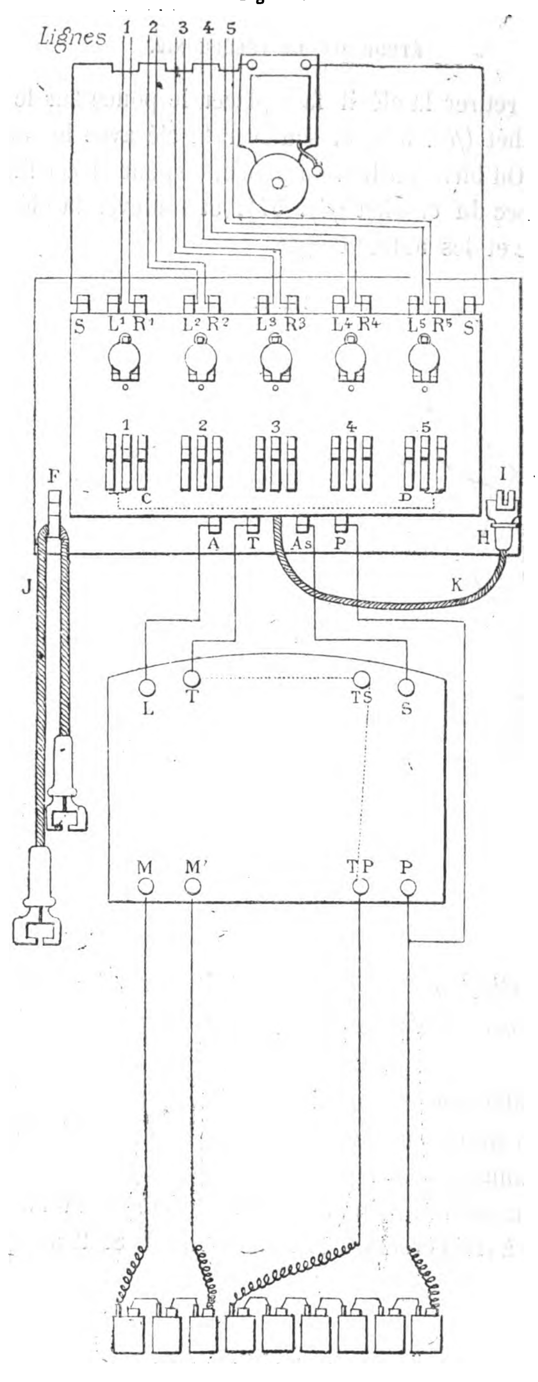

Lignes
1
2
3
4
5
S
L1
R1
L2
R2
L3
R3
L4
R4
L5
R5
S
1
2
3
4
5
C
D
F
I
H
A
T
As
P
K
J
L
T
TS
S
M
M'
TP
P

Fig. 59.

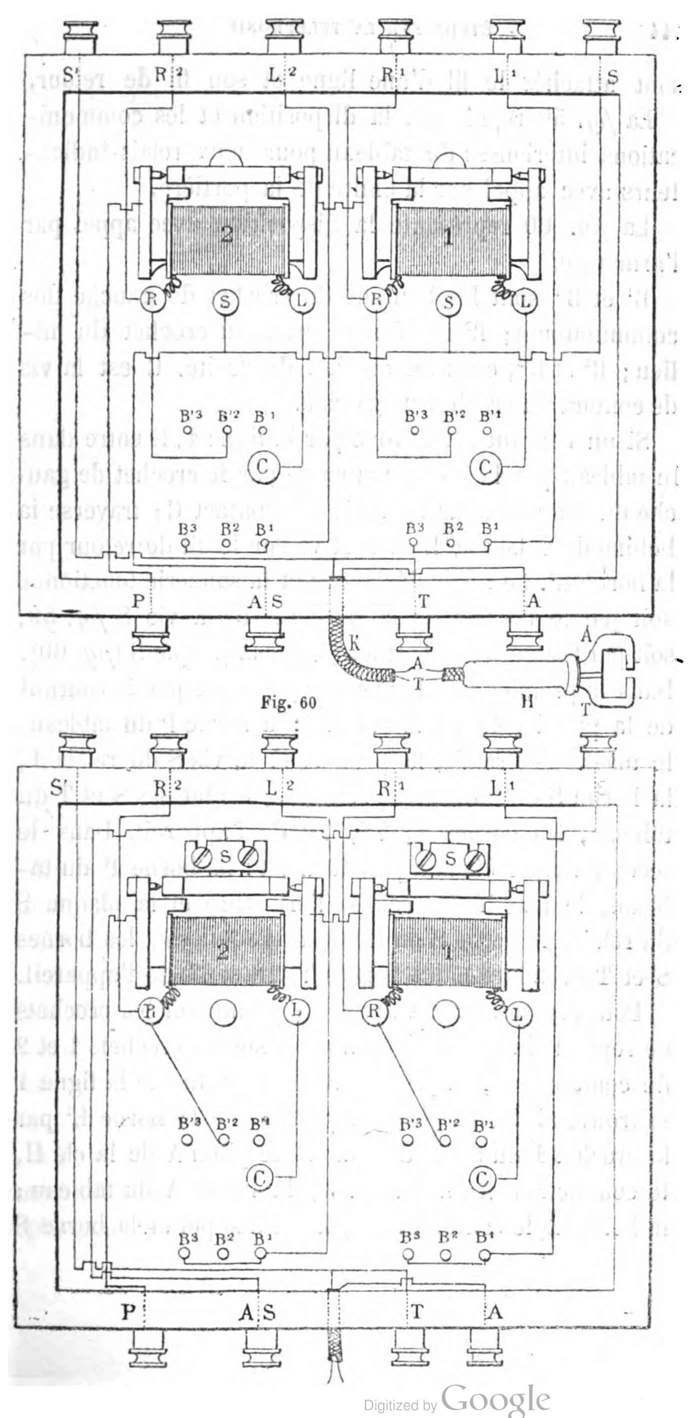

S'
R2
L2
R1
L1
S
2
1
R
S
L
B'3 B'2 B'1
C
B3 B2 B1
P
A S
T
A
K
A
T
H
T
S'
R2
L2
R1
L1
S
R
L
B'3 B'2 B'1
C
B3 B2 B1
P
A S
T
A

Fig. 60

sont attachés le fil d'une ligne et son fil de retour.

La *fig.* 59 représente la disposition et les communications intérieures du tableau pour deux relais-indicateurs avec appel par la chute de la portière.

La *fig.* 60 représente la disposition avec appel par l'armature.

B^1 et B'^1 sont les boulons du crochet de gauche des commutateurs; B^2 et B'^2 sont ceux du crochet du milieu; B^3 et B'^3, ceux du crochet de droite. C est la vis de contact du crochet de gauche.

Si un courant est envoyé par la ligne 1, il entre dans le tableau par la borne L^1; passe par le crochet de gauche du commutateur 1, sa vis de contact C; traverse la bobine du relais de L en R et va sur le fil de retour par la borne R^1. Le relais déclanche et la sonnerie fonctionne soit par le contact de la portière sur la vis S *fig.* 59, soit par le contact de l'armature sur la plaque S (*fig.* 60). Dans le premier cas, le chemin parcouru par le courant de la pile locale est le suivant : la borne P du tableau, le massif des relais, la portière et la vis S du relais 1, la borne S du tableau, la sonnerie, les bornes S' et T du tableau, les bornes T, TS, TP de l'appareil. Dans le second cas, le chemin parcouru est : la borne P du tableau, le massif des relais, l'armature et la plaque S du relais, la borne S du tableau, la sonnerie, les bornes S' et T du tableau, les bornes T, TS et TP de l'appareil.

Pour répondre à cet appel on prend, sur les crochets de repos I, la clé H que l'on place sur les crochets 1 et 2 du commutateur 1. Le circuit des deux fils de la ligne 1 se trouve ainsi complété en passant de la borne L^1 par le crochet 1 du commutateur 1, le piton A de la clé H, le conducteur A du cordon K, la borne A du tableau; la borne L, le commutateur, la clé d'appel et la borne S

de l'appareil; la borne AS et la borne S du tableau, la sonnerie, la borne S' du tableau, le conducteur T du cordon K, le piton T de la clé H, le crochet 2 du commutateur 1 et la borne R^1. Il suffit alors d'appuyer sur la clé d'appel de l'appareil pour sonner, de décrocher ensuite les téléphones, de les porter à ses oreilles et de commencer la conversation.

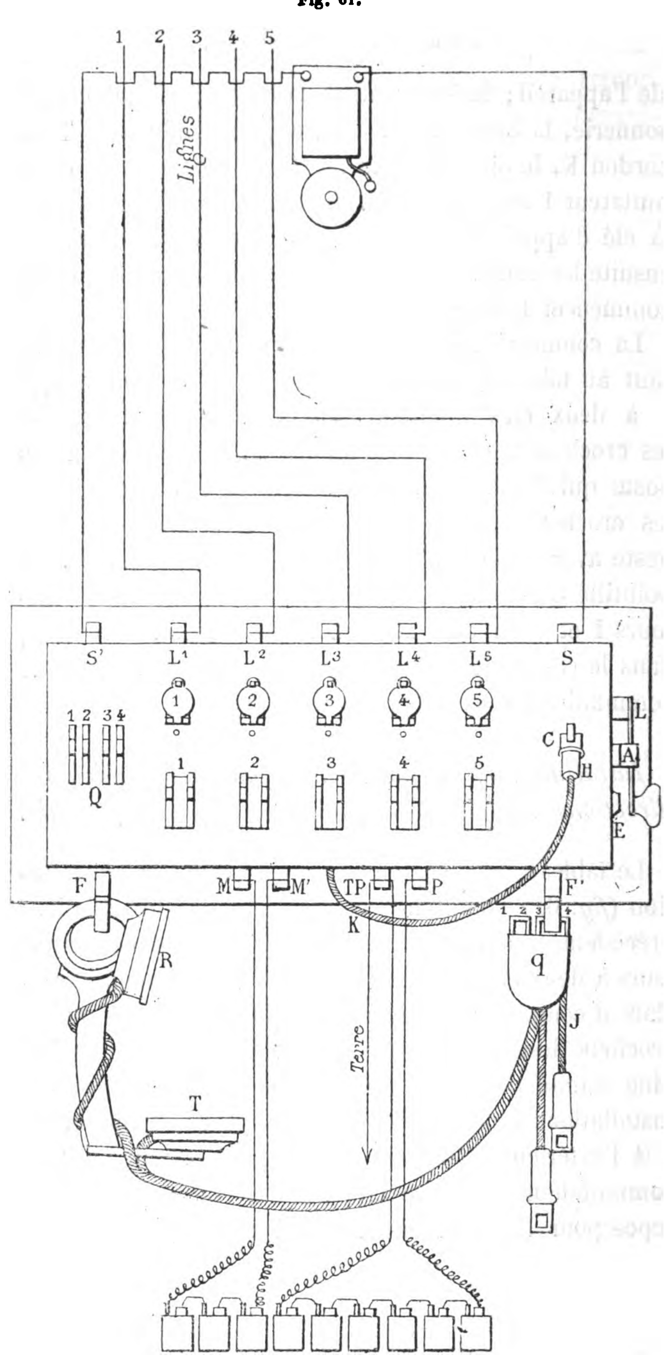
La communication directe entre deux lignes aboutissant au tableau, s'établit au moyen du cordon souple J à deux clés doubles dont on accroche l'une sur les crochets 2 et 3 du commutateur correspondant au poste qui demande la communication, et l'autre clé sur les crochets 1 et 2 du commutateur correspondant au poste avec lequel la communication est demandée. Le pointillé CD indique sur quels crochets des commutateurs 1 et 5 on doit accrocher les clés du cordon J, dans le cas où le poste de la ligne 5 aurait demandé communication avec le poste de la ligne 1.

Installation d'un poste télégraphique à plusieurs directions sur lignes simples avec appareil portatif.

Le tableau annonciateur employé pour cette installation (*fig.* 61) comprend, comme ceux des installations précédentes, autant de relais indicateurs et commutateurs à deux crochets qu'il y a de lignes y aboutissant. Mais il comprend en outre : un commutateur Q à quatre crochets destiné à l'appareil portatif RT, puis une bobine d'induction et une clé d'appel qui, dans les autres installations sont montées dans l'appareil ordinaire.

A l'extérieur du tableau annonciateur on voit, en Q, le commutateur à quatre crochets; en C, un crochet de repos pour la clé H du cordon fixe K ; en EAL la clé

Fig. 61.


1
2
3
4
5
Lignes
S'
L1
L2
L3
L4
L5
S
1
2
3
4
5
1 2 3 4
Q
C
H
L
A
E
F
M
M'
TP
P
F'
K
R
q
J
Terre
T

d'appel; en F et F', deux crochets porte-cordons sur lesquels on peut mettre des cordons souples J à deux clés et, lorsqu'il ne sert pas, l'appareil portatif RT avec sa clé quadruple *q*.

La disposition intérieure du tableau est représentée, *fig.* 62, pour deux relais indicateurs. D'après les communications, l'appel de sonnerie se ferait par la chute de la portière. Si l'on voulait que l'appel se fît par l'armature des relais il faudrait, comme l'indique le pointillé, relier la borne S' aux plaques SS au lieu de la relier aux vis SS.

B et B' sont les boulons des commutateurs et du crochet de repos. C est le butoir du crochet de gauche du commutateur 1; C' celui du crochet de gauche du commutateur 2; C'' est le butoir du crochet de repos qui, dans cette installation, sert en même temps d'interrupteur pour la pile de microphone. Les boulons des crochets du commutateur quadruples sont indiqués par les chiffres 1, 2, 3 et 4. BI est la bobine d'induction.

Pour expliquer la manœuvre des divers organes, supposons qu'un appel soit fait par la ligne 1. Le courant venant de la ligne 1 passe par la borne L^1, le boulon B et le crochet de gauche du commutateur 1, le butoir C, l'électro-aimant du relais 1, le massif des relais et vient à la borne TP pour se perdre à la terre. La portière 1 tombe; le pôle négatif de la pile d'appel étant à la terre, le courant positif passe par la borne P, la borne S, la sonnerie, la borne S', la vis de contact S et la portière du relais 1, le massif des relais, la borne TP et se perd à la terre; la sonnerie fonctionne et la portière tombée indique qu'il faut répondre sur la ligne 1.

On prend de la main gauche l'appareil portatif et, de la main droite, la clé quadruple que l'on met sur le

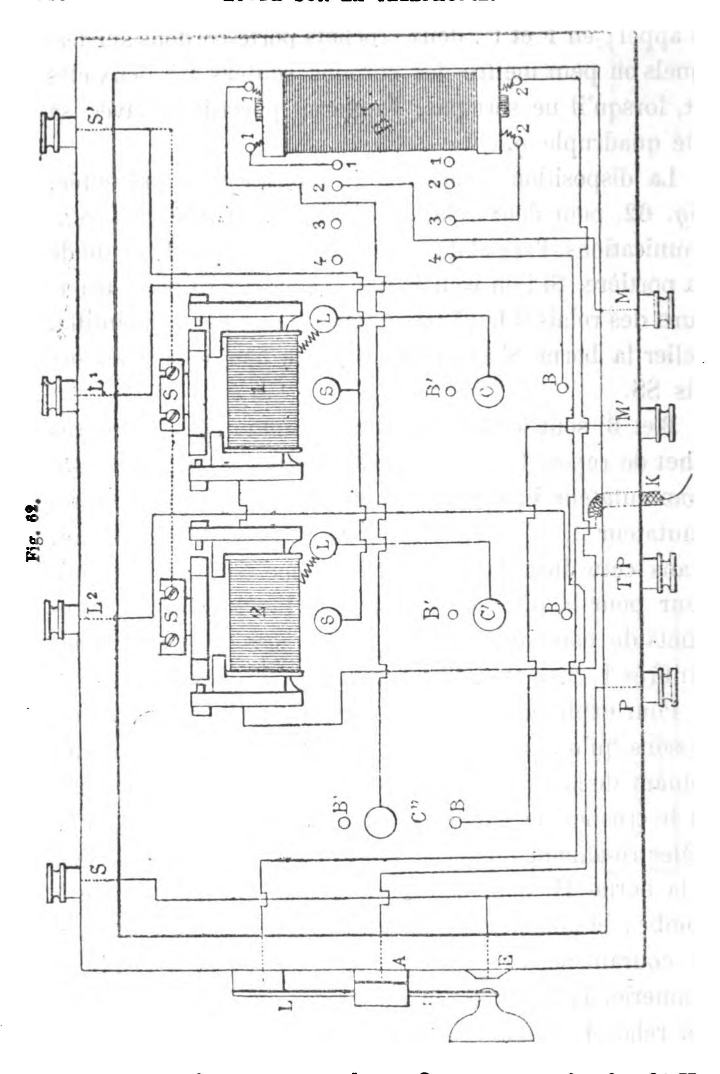


Fig. 62.

commutateur à quatre crochets. On met ensuite la clé H du cordon fixe K sur le crochet de gauche du commutateur 1; puis on relève la portière. Le circuit de la pile de microphone est ainsi fermé par la borne M', le crochet

de repos et son butoir C'', le fil primaire de la bobine d'induction, le crochet 1 du commutateur quadruple, le piton 1 de la clé quadruple, le transmetteur T ou microphone de l'appareil portatif, le piton 2 de la clé quadruple, le crochet 2 du commutateur quadruple et la borne M. Le circuit de la ligne est terminé, à partir de la borne L^1, par le boulon B et le crochet de gauche du commutateur 1, la clé H, le conducteur du cordon K, le levier L et le pont A de la clé d'appel, le crochet 4 du commutateur quadruple, le piton 4 de la clé quadruple, le téléphone récepteur R de l'appareil portatif, le piton 3 de la clé quadruple, le crochet 3 du commutateur quadruple, le fil secondaire ou induit de la bobine d'induction, la borne TP et la terre.

Pour aviser le correspondant que l'on est prêt à recevoir de lui, on appuie sur le bouton de la clé d'appel. Le courant positif de la pile d'appel, dont le pôle négatif est à la terre, passe par la borne P, l'enclume E et le levier L de la clé d'appel, le conducteur du cordon K, la clé H, le crochet de gauche et le boulon B du commutateur 1, la borne L^1, et va faire fonctionner la sonnerie qui est à l'autre extrémité de la ligne.

On porte ensuite à l'oreille gauche le récepteur R de l'appareil portatif, de façon que le transmetteur se trouve en face de la bouche et l'on communique oralement avec le correspondant.

Si celui-ci demande une communication directe avec un autre correspondant, on prend aussitôt dans la main droite les deux clés d'un cordon mobile ; on enlève la clé H du crochet de gauche du commutateur 1 ; on place, sur le crochet de droite du même commutateur, l'une des clés du cordon mobile ; on porte la clé H du cordon fixe sur le crochet de gauche du commutateur corres-

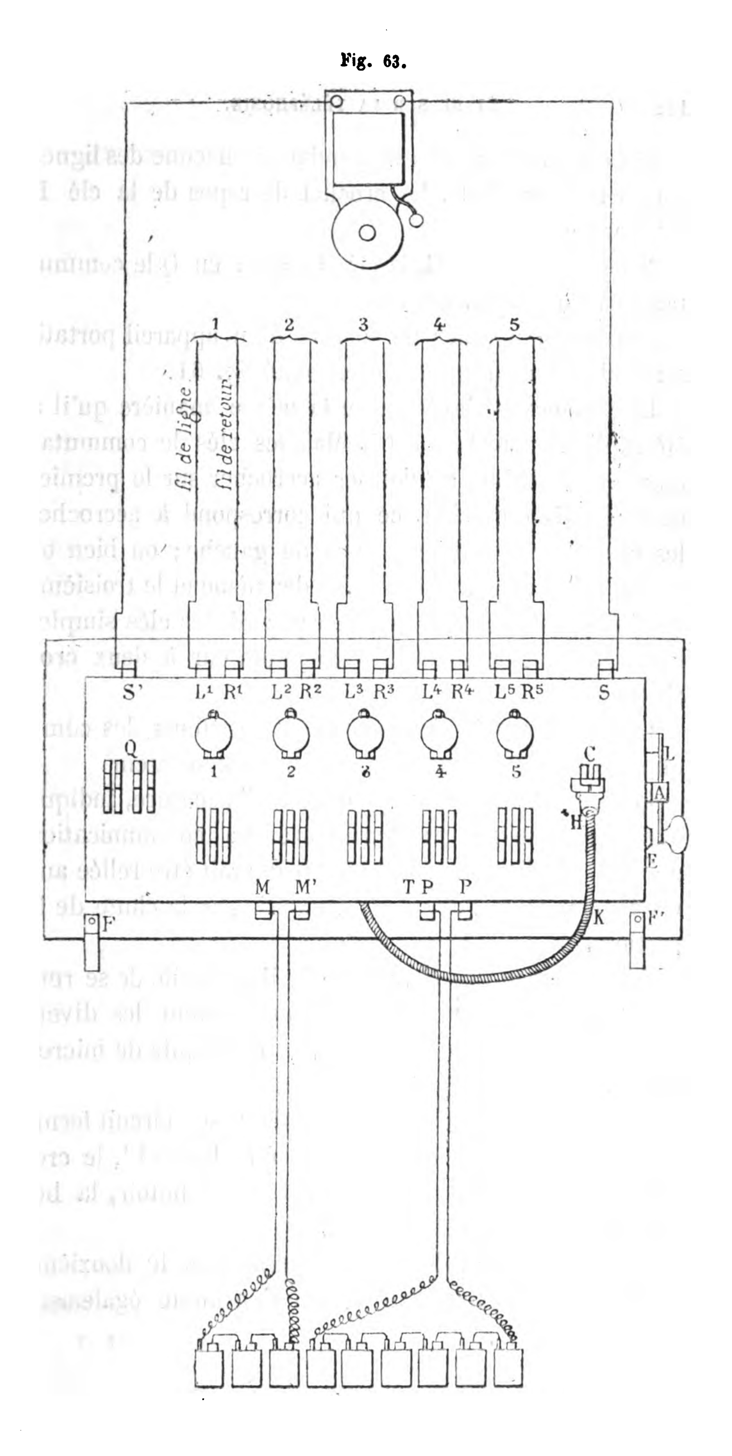
pondant au poste avec lequel on demande à communiquer; puis on appuie sur le bouton de la clé d'appel. Dès que le nouveau correspondant a répondu on l'avise de communiquer avec tel correspondant, et on substitue aussitôt, sur le crochet de gauche du commutateur, la clé libre du cordon mobile à la clé H du cordon fixe qu'on replace sur son crochet de repos. On pose ensuite l'appareil portatif et sa clé quadruple sur les crochets F et F'. Il n'y aurait, toutefois, aucun inconvénient à laisser la clé quadruple sur le commutateur à quatre crochets, puisque, par suite de la disposition des communications dans le tableau annonciateur, la clé H étant placée sur le crochet de repos coupe la communication de celui-ci avec son butoir G'', et, par conséquent, le circuit de la pile du microphone.

Il résulte de la manœuvre indiquée plus haut, que deux postes correspondants ont été mis en communication directe au tableau annonciateur en laissant une dérivation sur le relais indicateur de l'un d'eux. Dès que la conversation est terminée, les correspondants envoient sur la ligne un courant de leur pile d'appel qui, comme on l'a déjà vu, déclanche l'indicateur en dérivation dont la portière tombe. On enlève alors des commutateurs les clés du cordon mobile que l'on replace sur l'un des crochets F ou F'.

Installation d'un poste téléphonique à plusieurs directions sur lignes doubles avec appareil de poste central.

Cette installation, *fig.* 63, est faite de la même manière que la précédente, avec la différence que comporte l'emploi d'un fil de retour pour chaque ligne.

Fig. 63.



1
2
3
4
5
fil de ligne
fil de retour
S'
L¹ R¹
L² R²
L³ R³
L⁴ R⁴
L⁵ R⁵
S
Q
C
L
A
H
E
M
M'
T P
P
F
F'
K

Les commutateurs correspondant à chacune des lignes sont à trois crochets. Le crochet de repos de la clé H est double.

Nous voyons en EAL la clé d'appel; en Q le commutateur à quatre crochets.

Pour communiquer on se sert d'un appareil portatif semblable à celui qui est représenté *fig.* 61.

La manœuvre s'exécute de la même manière qu'il a été expliqué pour la *fig.* 61. Mais les clés de commutateurs étant double, on doit les accrocher sur le premier et le deuxième crochet, ce qui correspond à accrocher les clés simples sur le crochet de gauche; ou bien on accroche les clés doubles sur le deuxième et le troisième crochet dans le cas où l'on accrocherait les clés simples sur le crochet de droite du commutateur à deux crochets.

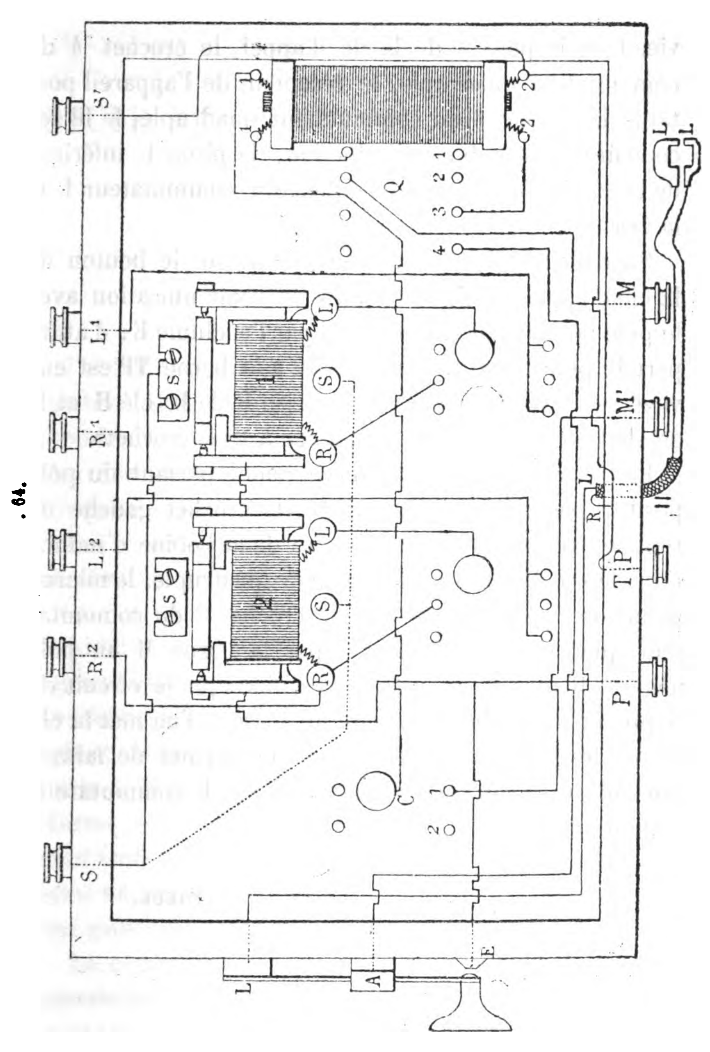
La *fig.* 64 représente, pour deux directions, les communications intérieures du tableau annonciateur.

La borne S reliée aux plaques S d'armature, indique que l'appel se fait par l'armature. La communication pointillée indique que la borne S devrait être reliée aux vis S pour faire l'appel de sonnerie par la chute de la portière.

Par l'examen des *fig.* 63 et 64, il est facile de se rendre compte des divers circuits que suivent les divers courants de ligne, de pile d'appel et de pile de microphone.

Au repos, la ligne 1, par exemple, a son circuit fermé à travers le relais 1 en passant par la borne L^1, le crochet de gauche du commutateur 1 et son butoir, la bobine du relais et la borne R^1.

Si l'on place la clé H sur le premier et le deuxième crochets du commutateur 1, que l'on mette également



. 64.

la clé quadruple de l'appareil portatif sur le commutateur à quatre crochets, le circuit de la ligne 1 est fermé par la borne L¹, le crochet de gauche du commutateur à trois crochets, le piton L supérieur de la clé H, le le-

vier L et le pont A de la clé d'appel, le crochet 4 du commutateur quadruple, le récepteur de l'appareil portatif, le crochet 3 du commutateur quadruple, le fil secondaire de la bobine d'induction, le piton L inférieur de la clé H, le crochet du milieu du commutateur 1 et la borne R'.

Si, dans cette position, l'on appuie sur le bouton de la clé d'appel, la ligne est mise en communication avec le pôle positif de la pile d'appel par l'enclume E ; d'autre part le pôle négatif, qui est relié à la borne TP est envoyé sur le fil de retour par le piton R de la clé H et le crochet du milieu du commutateur à trois crochets.

Le circuit de la pile de microphone, partant du pôle positif, passe par la borne M', le crochet gauche de repos et son butoir, le fil primaire de la bobine d'induction, le crochet 1 du commutateur quadruple, le microphone de l'appareil portatif, le crochet 2 du commutateur quadruple pour revenir par la borne M au pôle négatif. Il résulte de cette disposition que le circuit de la pile de microphone est rompu, lorsque l'on met la clé H sur les crochets de repos, ce qui permet de laisser sans inconvénient, la clé quadruple sur le commutateur à quatre crochets.

(*A suivre.*)

SIEUR.

ÉTUDE DES COURANTS TELLURIQUES.

J'ai fait connaître, dans le numéro de novembre-décembre 1883, la méthode que nous employons à l'École supérieure de télégraphie pour l'enregistrement continu des courants telluriques, et les premiers faits auxquels a conduit cette étude.

Les expériences ont continué et ont donné des résultats importants que je vais passer en revue.

Ainsi qu'il a été dit, les courants qui parcourent les lignes électriques dépendent uniquement de la position des deux points en communication avec le sol et sont indépendants du trajet des fils; ainsi deux fils de Paris à Nancy, l'un aérien, passant par Châlons-sur-Marne, et l'autre souterrain passant par Reims, donnent toujours des courbes semblables, dont les ordonnées varient seulement avec l'inégalité de sensibilité des galvanomètres, et suivant les shunts employés.

Le courant est nul pour tout fil isolé à une de ses extrémités, et par conséquent les effets de charge et de décharge dus aux variations de l'électricité atmosphérique sont infiniment faibles.

Pour des lignes de longueurs différentes, mais qui ont à peu près la même direction, telles que celles de Paris à Nancy, à Bar-le-Duc, à Châlons et à Reims, les

courants telluriques suivent à très peu près les mêmes phases; mais l'intensité est toujours proportionnelle à la distance des points extrêmes, la résistance totale restant la même, bien entendu.

Les courbes fournies par de longues lignes, de Paris à Châlons-sur-Marne, 150 kilomètres en ligne droite, et celles qui sont données par des lignes très courtes, de quelques kilomètres seulement, ayant la même direction, sont identiques, pourvu qu'on règle convenablement les résistances totales ou les shunts des galvanomètres.

J'ai voulu m'assurer que l'emploi d'une même communication avec la terre par deux fils ne troublait en rien les résultats. Dans ce but, j'ai comparé les courbes fournies par un fil allant de Paris à Nancy avec celles d'un fil allant de Viroflay (près de Versailles) à Nancy; les courbes ont été identiques. J'ai ensuite pris deux fils n'ayant entre eux rien de commun, un fil souterrain de Paris à Nancy et un fil aérien allant de Viroflay à Châlons-sur-Marne ; les résultats ont encore été les mêmes, à part un déplacement des courbes par rapport à l'axe, dû à l'action chimique des électrodes.

Pour des lignes situées à peu près dans le prolongement l'une de l'autre par rapport à Paris, telles que Paris-Lyon et Paris-Lille, Paris-le Havre et Paris-Dijon, on constate presque toujours des courants de sens opposés, accusant des courants telluriques dont la direction est la même. Les faibles différences dans la forme des courbes tiennent sans doute à ce que l'orientation des lignes n'est pas absolument la même.

Les lignes de Paris-Lille et de Paris-Juvisy, qui ont des directions exactement opposées, dont l'une a 212 kilomètres et l'autre seulement 20 kilomètres,

donnent des courbes symétriques à très peu près pareilles, à la condition de réduire à 1.000 ohms la résistance totale pour la ligne de Juvisy.

J'ai ensuite comparé des lignes parallèles situées à une grande distance l'une de l'autre (à 270 kilomètres environ) : la ligne de Nancy à Dijon d'une part, et de l'autre les lignes de Paris-Lille et de Paris-Juvisy. A cet effet, un des galvanomètres a été mis en relation avec Nancy d'un côté, et de l'autre avec Dijon, par l'intermédiaire d'un rhéostat complétant la résistance normale de 10.000 ohms ; le courant enregistré à Paris était donc celui de Nancy à Dijon. Ce courant a toujours suivi exactement les mêmes phases que celui de Paris à Lille, et que celui de Paris à Juvisy.

On ne constate pas de différence sensible entre les heures où se manifestent les courants accidentels, ce qui peut tenir, à la rigueur, à la lenteur de l'enregistrement.

Les courants telluriques ont donc une direction bien déterminée. Ils ne sont déviés dans leur trajet par aucun accident local, montagnes, cours d'eau, etc. ; leur marche est la même pour une assez grande étendue de notre globe.

Si l'on compare les courbes fournies par les courants telluriques, aux courbes magnétiques de l'Observatoire de Saint-Maur pour les mêmes jours, on reconnaît facilement qu'il existe entre elles un rapport intime, et qu'elles se complètent en quelque sorte. Les courbes données par les variations de la composante horizontale du magnétisme terrestre correspondent à peu près aux courbes telluriques de la ligne de Paris à Nancy, et les courbes données par les variations de la déclinaison à celles de la ligne de Paris à Dijon. Il y

aurait sans doute une concordance plus grande encore entre ces courbes si nous avions pu prendre deux lignes situées exactement, l'une dans la direction du méridien magnétique (environ 16°56′ O.), et l'autre dans la direction normale à cette ligne, au lieu des deux lignes de Paris à Dijon et à Nancy.

Quant aux variations de la composante verticale du magnétisme, elles sont très faibles, même dans les moments de trouble; on pourrait les comparer aux indications d'une ligne télégraphique fermée directement sur elle-même, sans communication avec le sol.

Les courants telluriques correspondent toujours aux variations des éléments magnétiques, c'est-à-dire qu'à chaque instant l'intensité du courant est proportionnelle à la tangente trigonométrique de l'angle que forme avec l'axe la tangente à la courbe magnétique, ou, en d'autres termes, les courbes telluriques sont les dérivées des courbes magnétiques. Les premières coupent l'axe qui correspond à l'absence de tout courant au moment où les tangentes aux courbes magnétiques sont elles-mêmes parallèles à leur axe; leurs maxima ou minima se produisent aux instants des plus grandes variations des éléments magnétiques.

Ce fait important ressort incontestablement de l'examen de toutes les courbes qui représentent les deux phénomènes. Ainsi, par exemple, pour les courbes du 12 au 13 novembre, un peu avant minuit, un courant intense se manifeste de Châlons à Paris, au moment où la composante horizontale s'accroît brusquement, courant qui change de sens quand la composante décroît. Le même jour un courant se produit de Dijon à Paris, de 6^h30^m à 8^h du soir, pendant que la

déclinaison diminue, puis change de direction au moment où elle augmente.

Les courbes des courants telluriques accusent non seulement les variations accidentelles du magnétisme terrestre, mais aussi les variations normales, et, par les temps très calmes, on obtient des courbes à peu près régulières, troublées seulement, parfois, par des courants accidentels de peu de durée, qui ne modifient pas leur forme générale.

On sait qu'il résulte de nombreuses expériences de Lamont que la déclinaison ayant une valeur minima vers 8^h du matin augmente peu à peu, atteint son maxima entre 1^h et 2^h du soir, puis qu'elle diminue jusqu'à 10^h du soir ; elle augmente un peu de 10^h du soir à 5^h du matin, puis décroît de nouveau jusqu'à 8^h du matin, la variation de 10^h du soir à 8^h du matin, qui produit ce second maxima, étant extrêmement faible et presque toujours négligeable.

On retrouve dans presque toutes les courbes telluriques, surtout sur celles qui sont fournies par la ligne de Paris à Dijon, la trace de ces variations de la déclinaison, et en particulier de celle qui correspond au mouvement de l'aiguille aimantée vers l'Ouest, de 8^h du matin à 1^h du soir.

Les courbes de la ligne de Paris à Nancy accusent également, en général, à la même heure, un courant allant de Paris à Nancy, mais dont l'intensité est à peu près moitié moindre, ainsi qu'on le reconnait par les figures, en tenant compte des constantes.

Le courant qui produit les deux composantes sur les lignes de Paris à Nancy et de Paris à Dijon a donc, dans les journées calmes, une direction qui va sensiblement du Nord-Ouest au Sud-Est ; il forme, en général, avec le

méridien géographique, un angle d'environ 70°, ou, avec le méridien magnétique, un angle de 56°. Toutefois, la direction de ce courant varie un peu d'un jour à l'autre et même dans le courant d'une journée.

Les courants qui circulent dans les fils télégraphiques, pendant les périodes calmes, sont, comme dans le cas des grandes perturbations, des courants induits dus aux variations des éléments magnétiques de notre globe, qui constituent le phénomène principal. On peut tirer une conséquence très importante des courbes que fournissent les deux phénomènes.

En admettant, ce qui paraît hors de doute, que les perturbations des éléments magnétiques sont dues à des courants électriques accidentels, on peut se demander si ces courants circulent à l'intérieur de notre globe ou s'ils se produisent dans les régions supérieures de l'atmosphère. La comparaison des courbes magnétiques et telluriques permet de répondre à cette question.

De l'examen des courbes telluriques on peut, en effet, déduire à chaque instant la direction des courants qui produisent l'induction et auxquels sont dues les variations du magnétisme terrestre, puis en comparant cette direction à la déviation de l'aiguille aimantée, savoir si ces courants circulent au-dessous ou au-dessus de la surface de la Terre.

Ainsi pendant la journée du 12 au 13 novembre, il s'est développé, de 6^h à 7^h du soir, un courant allant dans la direction de Paris à Châlons-sur-Marne. Ce courant était produit par l'induction due au développement d'un courant allant en sens contraire, c'est-à-dire de Châlons à Paris. Or ce courant a donné lieu à une

diminution dans la composante horizontale; il a donc développé sur le pôle nord de l'aiguille aimantée une action allant du Nord au Sud. Il en résulte qu'il devait se trouver au-dessus de l'aiguille et, par conséquent, dans les régions supérieures de l'atmosphère.

En étudiant les variations de la déclinaison, on est conduit au même résultat. Ainsi le même jour (12 au 13 novembre), à $6^{h}30^{m}$ du soir environ, on a constaté un courant allant de Dijon à Paris, qui devait correspondre à un courant primaire augmentant d'intensité dans la direction contraire, de Paris à Dijon. Au même moment, la déclinaison subissait une diminution, et, par suite, le pôle austral de l'aiguille était soumis à une force allant de l'Ouest à l'Est; on en conclut encore que le courant qui produisait cette action circulait dans les régions supérieures de l'atmosphère.

Toutes les autres perturbations magnétiques conduisent au même résultat.

Enfin le même fait résulte de la comparaison des variations journalières et à peu près régulières du magnétisme terrestre avec les courants observés sur les fils pendant les périodes calmes. La déclinaison augmente tous les matins, de 8^{h} à 1^{h} du soir, et correspond à un courant tellurique induit allant du Nord au Sud. Le courant primaire, dont l'intensité augmente pendant le même temps, va donc du Sud au Nord et doit avoir son circuit au-dessus de la couche terrestre pour faire dévier à l'Ouest le pôle nord de l'aiguille aimantée.

La faiblesse des variations de la composante horizontale du magnétisme terrestre, même pendant les perturbations les plus violentes, s'explique alors facilement, puisque les courants électriques de l'atmo-

sphère, étant sensiblement parallèles à la surface de la terre, ne peuvent exercer qu'une action verticale extrêmement restreinte sur les pôles de l'aiguille aimantée.

La circulation dans les régions supérieures de l'atmosphère des courants électriques, auxquels sont dues les perturbations magnétiques, concorde avec la théorie des aurores boréales de M. de la Rive; elle peut rendre compte d'un fait signalé par M. Montigny, de la simultanéité de ces perturbations avec la scintillation des étoiles, car il peut se faire que l'état de l'atmosphère, qui augmente la transparence et rend la scintillation plus vive, soit également celui qui correspond à une conductibilité électrique plus grande. Enfin elle peut expliquer les coïncidences constatées quelquefois entre les tempêtes et les perturbations observées sur les lignes électriques.

Quant aux courants telluriques qui produisent les variations journalières, et à peu près régulières, du magnétisme terrestre, leur direction varie peu, car les maxima, les minima et les points de rencontre avec les axes se correspondent en général pour les courbes fournies par des lignes différentes.

Peut-être ces courants sont-ils produits par un mouvement de l'électricité, transportée dans les régions supérieures de l'atmosphère par des vents ayant la direction du Sud-Est au Nord-Ouest, leur variation de direction et d'intensité tenant simplement à une modification dans la vitesse et la marche de ces vents due à la chaleur solaire; dans ce cas, le soleil n'aurait pas d'action inductrice directe comme l'admettent beaucoup de physiciens. Cette hypothèse pourrait rendre compte de l'influence constatée des taches du soleil

qui, en modifiant la chaleur reçue par notre globe, auraient une action sur les mouvements de l'air dans les régions supérieures de l'atmosphère et par suite sur les courants telluriques.

Il est probable que l'induction électro-magnétique qui produit les courants appelés telluriques ou terrestres agit directement sur les fils conducteurs des lignes télégraphiques et qu'il n'y a pas de différence sensible de potentiel entre des points éloignés, de même qu'il se développe des courants induits dans un fil conducteur enroulé régulièrement autour d'un cylindre de fer doux qu'on aimante ou qu'on désaimante, sans qu'aucun des points ait un potentiel plus élevé qu'un autre. La faiblesse relative de ces courants sur les longues lignes sous-marines s'expliquerait alors aisément.

E.-E. Blavier.

CONFÉRENCE INTERNATIONALE

POUR LA

DÉTERMINATION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES

La deuxième séance de la conférence internationale pour la détermination des unités électriques a été ouverte à Paris, le 28 avril, sous la présidence de M. Jules Ferry, président du conseil, ministre des affaires étrangères.

Vingt-six États étaient représentés par 48 délégués à cette conférence, qui avait surtout pour but d'arrêter d'une façon définitive l'étalon de résistance électrique et l'étalon de lumière.

A l'ouverture de la première séance, M. le président du conseil des ministres a prononcé l'allocution suivante qui a été accueillie par des applaudissements unanimes :

Messieurs,

« Je suis heureux d'avoir l'honneur de souhaiter, au nom du Gouvernement de la République, la bienvenue à tant d'illustres savants venus ici de tous les points du globe. Cette seconde réunion de la Conférence des Unités électriques, à laquelle vous êtes accourus si fidèles et si nombreux, ne nous intéresse pas seulement à cause des résultats pratiques et scientifiques qu'on en doit attendre ; elle a, à nos yeux, une autre portée

plus haute encore : nous constatons ici, en effet, une manifestation nouvelle de cette heureuse et remarquable tendance qui caractérise les dernières années du dix-neuvième siècle : je veux parler de cette unité de plus en plus complète, de plus en plus active du monde savant, résultat naturel de l'unité de la science elle-même, présage lointain, mais assuré, d'un avenir que nous ne verrons pas, mais dont vous êtes, Messieurs, les véritables précurseurs, du temps où les nations civilisées ne formeront plus entre elles qu'une grande association de travailleurs collaborant à la même œuvre, l'avancement de la science, l'affranchissement de l'humanité et ne faisant plus de conquêtes que sur la nature, l'ignorance et la barbarie.

« Vous allez, Messieurs, reprendre vos travaux au point où vous les avez laissés, il y a dix-huit mois. Vous avez alors, pour compléter votre programme, fait appel aux libres recherches des savants. Vous avez été entendus, et les résultats acquis depuis cette époque ne peuvent manquer de rendre vos délibérations plus faciles, plus courtes et plus fécondes. En les recommençant, pourquoi faut-il que nous ayons le regret de constater les vides douloureux qui se sont produits dans vos rangs et de déplorer l'absence de plusieurs des ouvriers de la première heure? Vous les avez tous nommés avant moi : M. Siemens, l'un des savants les plus justement renommés de l'Europe, qui contribua si puissamment aux progrès des sciences physiques et dont le frère, son noble émule, a bien voulu, malgré sa douleur, prendre place parmi les membres de cette Assemblée ; M. le capitaine Hoffmeyer qui représentait avec tant d'autorité le Danemark dans cette conférence ; enfin et surtout l'homme illustre qui

fut l'inspirateur et l'âme de vos premiers travaux, M. J.-B. Dumas, ce doyen vénéré de la science européenne, ce profond et lumineux esprit, qui ne se montra jamais plus fécond, plus alerte et plus jeune, à si peu de distance du terme de sa longue carrière, que dans le congrès des électriciens, comme si la puissance intellectuelle pouvait chez lui s'accroître indéfiniment avec les années ; vigoureux et beau génie qu'au nom de l'Europe savante, ici représentée, nous saluons aujourd'hui dans sa tombe!

« Heureusement, Messieurs, la science est immortelle : le flambeau passe de main en main sans s'éteindre jamais. Héritiers des recherches des grands hommes qui vous ont devancés, vous recueillez tout entier le fruit de leurs travaux, et vous étendez, à votre tour, le domaine de leurs pacifiques conquêtes. C'est là, Messieurs, votre glorieux et enviable privilège : tandis que les autres travaux de l'homme, dans la vie publique comme dans la vie privée, n'ont qu'une durée passagère et ne remplissent qu'un office transitoire, vous seuls travaillez aux choses permanentes, à la seule œuvre humaine qui ne périsse pas et ne cesse jamais de s'agrandir. »

M. Broch, *délégué de Suède et de Norvège*, a répondu en ces termes :

« Mes collègues étrangers me permettront de remercier, en leur nom, M. le Président du Conseil des paroles qu'il vient de prononcer et de m'associer, avec eux tous, au juste hommage qu'il a rendu à la mémoire de M. Dumas.

« Ce que nous regrettons en lui, ce n'est pas seulement le grand homme de science, c'est encore et surtout

l'homme lui-même. Comme savant, il a laissé une école qui lui survivra, qui reprendra et continuera ses travaux. Mais elle ne nous rendra pas ce qui caractérisait et distinguait entre tous M. Dumas : ce feu sacré de la science qu'il garda dans sa vieillesse et jusqu'au bord de la tombe, cette inépuisable bienveillance avec laquelle il encourageait et guidait tous ceux qui s'adressaient à lui, même dans les recherches où les attendaient des difficultés insurmontables pour tout autre que pour lui; enfin, ce cœur généreux qui l'associait à toutes les conquêtes de la science et de la civilisation. Alors que tant d'autres, au déclin de l'âge, perdent confiance dans le progrès, M. Dumas conserva toujours intacte et ardente sa foi dans l'avenir. C'est par là, par là surtout que sa mort est une perte, non seulement pour la France, mais pour l'humanité tout entière. »

La présidence de la conférence a été ensuite déférée à M. Cochery, ministre des postes et des télégraphes, qui, après avoir rappelé les circonstances par suite desquelles la deuxième réunion avait dû être reportée du 1er octobre 1883 au 28 avril 1884, a proposé de confier les fonctions de secrétaires à MM. Henry Becquerel et Lavollée, et celles de secrétaires-adjoints à MM. Vaschy, Thévenin et de Nerville, proposition qui à été adoptée à l'unanimité.

La conférence s'est ensuite divisée, comme dans la précédente session, en trois commissions, correspondant à chacune des parties du programme : la première présidée par M. Jamin, unités électriques proprement dites; la deuxième présidée par M. Wild, électricité atmosphérique et courants terrestres; la troisième, présidée par M. Broch, étalon de lumière.

Nous nous proposons de revenir sur les travaux de ces diverses commissions; nous nous bornerons pour le moment à mentionner les résolutions qui ont été adoptées à l'unanimité sur leurs propositions, dans la séance plénière du 3 mai et qui seront soumises à l'approbation des divers gouvernements :

1° Unités électriques proprement dites.

1re *Résolution.* — L'ohm légal est la résistance d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 106 centimètres de longueur à la température de la glace fondante.

2e *Résolution.* — La Conférence émet le vœu que le gouvernement français veuille bien transmettre cette résolution aux divers États et en recommande l'adoptior internationale.

3e *Résolution.* — La Conférence recommande la construction d'étalons primaires en mercure conformes à la résolution précédemment adoptée et, concurremment, l'emploi d'échelles de résistances secondaires en alliages solides, qui seront fréquemment comparées entre elles et avec l'étalon primaire.

4e *Résolution.* — L'ampère est le courant dont la mesure absolue est de 10^{-1} en unités électro-magnétiques C. G. S.

5e *Résolution.* — Le volt est la force électro-motrice qui soutient le courant d'un ampère dans un conducteur dont la résistance est l'ohm légal.

2° Courants électriques et paratonnerres.

1re *Résolution.* — Il est à désirer que les résultats des observations recueillies par les diverses administrations

soient envoyés chaque année au bureau international des administrations télégraphiques à Berne, qui en fera un relevé et le communiquera aux gouvernements.

2e *Résolution.* — La Conférence émet le vœu que les observations des courants terrestres soient poursuivies dans tous les pays.

3o Étalon de lumière.

Résolution. — L'unité de chaque lumière simple est la quantité de lumière de même espèce émise en direction normale par un centimère carré de surface de platine fondu, à la température de solidification.

L'unité pratique de lumière blanche est la quantité de lumière émise normalement par la même source.

Ces importantes résolutions mettent fin à la confusion qui existait dans les mesures électriques et dans les mesures de lumière. Tous les savants, tous les praticiens les accueilleront avec reconnaissance. Nous sommes heureux qu'elles soient surtout dues à l'initiative de M. le Ministre des postes et des télégraphes.

CHRONIQUE.

Société internationale des électriciens.

La Société internationale des électriciens a tenu ses séances mensuelles le 5 mars et le 2 avril.

Dans la première de ces séances, M. Tresca a lu une notice sur la vie et les travaux de M. Th. du Moncel, puis M. Hospitalier a fait une intéressante communication sur les transformations d'énergie en les classant d'après les trois caractères suivants : 1° le temps qui sépare l'instant de la transformation de celui de son application ; 2° le mode suivant lequel la transformation s'opère ; 3° la nature de la transformation adoptée. Il a été conduit ainsi à étudier successivement les transformations instantanées directes (induction), indirectes (travail), puis les transformations différées directes (action électro-statique) et indirectes (action chimique).

La séance du 2 avril a été presque entièrement consacrée à une communication de M. Cabanellas sur le transport de l'énergie.

Objets du matériel télégraphique appartenant à l'État détériorés par la foudre, en 1883, en France.

Nombre d'objets sur 1000 en service.

Poteaux	0,742
Isolateurs	0,168
Paratonnerres	17,37
Galvanomètres	0,44
Sonneries	6,40
Appareils Morse	2,777
Appareils à cadran, Hughes, Baudot	0

Sur une cause probable de désaccord entre la force électromotrice des piles et les données thermochimiques.

Note de M. G. CHAPERON.

Parmi les éléments voltaïques dont la force électromotrice réelle présente des différences considérables avec la force électromotrice théorique calculée au moyen des données thermochimiques, un certain nombre semblent montrer des phénomènes dus à la polarisation du métal soluble ou attaquable. Plusieurs cas remarquables ont été constatés par M. Edm. Becquerel en 1856 : ils se rapportent à des couples contenant du fer, du nickel ou du cobalt dans une dissolution de potasse. Ces couples, bien qu'ayant une électrode positive impolarisable, fournissent un courant qui tombe très rapidement vers zéro. Les éléments où entrent le magnésium dans la même dissolution de potasse et l'aluminium dans l'eau acidulée sulfurique offrent des propriétés analogues. La force électromotrice de tous ces couples diffère d'ailleurs beaucoup de sa valeur théorique, même lorsqu'on la mesure *à l'état statique*, à l'électromètre, par exemple.

C'est ainsi que l'élément aluminium, acide sulfurique dilué, sulfate de cuivre, cuivre, donne $0^{volt},62$, la force électromotrice théorique étant $2^{volts},06$. L'élément magnésium-platine dans la potasse, contrairement à ce qu'indiqueraient les données thermiques, est moins énergique que l'élément zinc-platine dans le même liquide ($1^{volt},35$ au lieu de $1^{volt},43$.

Bien que l'on ne considère habituellement le phénomène appelé *polarisation* comme susceptible de modifier l'énergie électrique fournie par une action chimique que par le fait du passage du courant, il semble possible, *à priori*, que les propriétés inhérentes aux métaux, quelles qu'elles soient d'ailleurs, qui concourent à produire ce phénomène, modifient aussi la force électromotrice statique. Nous avons ainsi été conduit à constater et à étudier, sous leur forme générale, les phénomènes de polarisation produits par les métaux cités, dans les dissolutions même où l'énergie électrique qu'ils produisent présente des anomalies.

Cette étude, en raison de l'effet possible d'une couche d'oxyde, qui altérerait beaucoup la conductibilité des électrodes et causerait, à elle seule, une différence de potentiel notable pendant qu'elles communiquent avec la pile, a dû être faite d'une façon particulière.

La méthode suivie consiste à couper rapidement le circuit fermé par les électrodes et la pile pour mettre ces électrodes en communication pendant un temps très court avec les armatures d'un condensateur d'assez grande capacité (1 microfarad). En réitérant cette opération un certain nombre de fois, ce qui se fait aisément au moyen d'une clef, le condensateur finit par se charger, avec une différence de potentiel des armatures très rapprochée de la différence maxima qu'ont retenue les électrodes. On mesure alors cette différence de potentiel, soit par l'impulsion d'un galvanomètre, soit, plus commodément, à l'électromètre. Avec des électrodes dites impolarisables, de zinc distillé dans le sulfate de zinc, par exemple, et une source de 1 volt, en trois coups de clef on a une charge de quelques centièmes de volt, qui n'augmente pas pour cent coups de plus; avec un système polarisable, au contraire, en trois ou quatre coups, le condensateur est chargé avec une différence très rapprochée de 1 volt.

Il est commode de mettre les résultats sous forme de courbes ayant pour abscisses les différences de potentiel établies par la source variable entre les électrodes, et pour ordonner les différences restituées per ces électrodes au condensateur.

L'examen de ces courbes montre que les métaux étudiés donnent, avec les électrolytes dans lesquels nous les avons examinés, des systèmes polarisables jusqu'à la *décomposition de l'électrolyte en ses éléments*, la différence de potentiel retenue par les électrodes croissant, suivant une loi bien continue, entre zéro et le point d'électrolyse, et même beaucoup au delà. La limite de force électromotrice atteinte ainsi, après l'électrolyse apparente, est souvent supérieure à celle que donne le platine. Ainsi, avec le magnésium dans les alcalis, on a des forces électromotrices restituées de 3^{volts},8, avec l'aluminium dans l'eau acidulée, plus de 4 vols.

Essayons maintenant de préciser et d'interpréter les rap-

ports que nous avons dit exister entre les phénomènes de polarisation et l'anomalie de la force électromotrice *statique*. Pour cela, désignons par T_{mR}, T_{mH} le travail ou l'énergie électrique correspondant à une température et une pression données, à l'absorption ou à la restitution des éléments R et H d'un électrolyde par une électrode de métal polarisable m. T_{mR} et T_{mH} ne sont pas des constantes, mais varient au contraire dans des limites très étendues, diminuant à mesure qu'augmente la quantité absorbée des éléments R et H.

Cela posé, le travail chimique correspondant à l'énergie électrique restituée par deux électrodes polarisées sera en général

$$T_{RH} - T_{mR} - T_{mH},$$

T_{RH} étant, dans les conditions données, l'énergie de formation de l'électrolyte; T_{mR}, T_{mH} ayant les valeurs qui correspondent aux deux états de saturation des électrodes amenés par l'effet de la source. Si la polarisation suit une loi continue, comme on peut le constater, par exemple, sur les systèmes que nous avons étudiés, cette valeur de l'énergie chimique devra varier de T_{RH} à zéro entre le point d'électrolyse et l'état de neutralité des électrodes, qui est alors caractérisé par l'égalité

$$T_{RH} - T_{mR} - T_{mH} = 0. \qquad (1)$$

Dans ce même intervalle, T_{mR} et T_{mH} varieront de zéro à deux valeurs positives; chacune de ses valeurs sera donc, à la limite, plus petite que T(RH). C'est la valeur limite de T_{mR} satisfaisant à l'équation (1) qui entrerait dans le calcul des forces électromotrices théoriques au lieu de la chaleur de combinaison.

Cette équation (1) est pour ainsi dire évidente, si on la considère comme exprimant ce fait que le métal ne dégagerait pas d'énergie électrique ou de travail en décomposant l'électrolyte à lui seul. Il a dû, en effet, atteindre toujours cet état d'équilibre, au cas où il n'existeraient pas avant le contact de l'électrolyte. Il est utile d'ajouter que l'existence des deux coefficients variables, T_{mR}, T_{mH}, n'entraîne pas celle de deux systèmes chimiques à proportions indéfinies; il suffit en effet



que de pareils systèmes se réalisent avec l'un des éléments des électrolytes ; l'hydrogène, par exemple, peut faire varier d'une manière continue l'énergie chimique du métal des élec trodes relativement à une réaction quelconque.

(*Comptes rendus.*)

Nouvelle méthode pour mesurer l'intensité d'un courant électrique en unités absolues.

Par M. Henri Becquerel.

Pour mesurer l'intensité absolue d'un courant électrique, on emploie généralement, soit la boussole des tangentes, soit l'électrolyse d'un sel d'argent. L'usage de la boussole des tangentes exige la mesure très difficile des dimensions exactes de l'appareil ; il a le grave inconvénient de rapporter l'intensité cherchée à celle du champ magnétique terrestre, qui n'est jamais bien contenue à plus de $\frac{1}{200}$ près, et qui est variable non seulement d'un point à un autre, mais encore d'un instant à l'autre en un même lieu. Aussi préfère-t-on souvent avoir recours à l'électrolyse d'un sel d'argent ; l'opération est très délicate à faire avec précision, et le poids d'argent recueilli indique seulement la quantité totale d'électricité qui a traversé le voltamètre. Pour en déduire l'intensité, il faut supposer que le courant a été rigoureusement constant pendant la durée de l'expérience.

Depuis plusieurs années, j'ai été conduit à mesurer l'intensité absolue d'un champ magnétique ou électromagnétique par l'observation de la rotation du plan de polarisation de la lumière traversant un corps placé dans ce champ. Cette méthode s'applique très facilement à la mesure absolue d'un courant électrique, en se fondant sur le théorème suivant :

Considérons un courant circulaire d'intensité i, et une droite indéfinie passant par son centre et perpendiculaire à son plan. On démontre très simplement que la somme des projections sur cette droite de toutes les actions électromagnétiques exercées sur tous ces points, de ∞ à $+\infty$, est in-

dépendante du rayon du cercle et égale à $4\pi i$. Si, au lieu d'un seul courant, on a une bobine comprenant N tours de fil, et parcourue par un courant d'intensité i, la somme des actions exercées sur tous les points de l'axe, parallèlement à cet axe, sera $4\pi N i$ et ne dépendra que du nombre absolu des tours de la bobine et de l'intensité du courant.

Cela posé, disposons suivant l'axe de la bobine un tube que nous supposerons d'abord indéfini et plein de sulfure de carbone à 0°C. Supposons, en outre, qu'un rayon de lumière polarisée rectilignement traverse ce tube : l'action du courant donnera lieu à une rotation du plan de polarisation, et si l'on désigne par α la rotation qui correspond, pour les rayons lumineux considérés, à 1^c de sulfure de carbone placé daus un champ magnétique égal à l'unité (C. G. S.), la rotation totale au travers du tube sera

$$4\pi N i \alpha.$$

Pratiquement, on limite le tube par des glaces parallèles, à une petite distance de la bobine. On néglige alors une portion de l'action du courant, qui, pour chaque spire, est représentée par $1 - \cos\omega$, ω étant l'angle sous lequel on voit, de l'extrémité du tube, le rayon de cette spire. Si l'on calcule cette correction pour la dernière spire de la dernière rangée de fil de chaque bobine, cette valeur $1 - \cos\omega$ donnera une limite supérieure de la différence entre la rotation observée et celle qui correspondrait à une longueur infinie du tube. Si le diamètre de la bobine ne dépasse pas 5^c, en limitant le tube à 1^m,50 de part et d'autre de la bobine, la correction n'atteindrait pas 0,0001.

Généralement on n'a pas besoin d'une approximation aussi grande ; on voit donc que, pour réaliser l'expérience, il suffira d'un tube de 1^m,50 à 2 mètres de long, fermé par des glaces parallèles et plein de sulfure de carbone. Au milieu du tube, on disposera une petite bobine sur les dimensions de laquelle nous allons revenir ; puis, aux deux extrémités du tube, on établira un polarimètre à pénombres et un analysateur monté sur un cercle divisé. On éclairera l'appareil avec les rayons jaunes d'une lampe à sodium, et, si l'on observe une rotation R, l'intensité du courant passant dans la bobine

sera donnée par la relation

$$i = \frac{1}{4\pi R}\frac{R}{\alpha};$$

il suffit donc de connaître le nombre absolu de tours N du fil de la bobine et la constante α. La précision des résultats est subordonnée à celle de la détermination de cette constante.

J'ai été conduit, il y a plusieurs années, à mesurer ce nombre par l'action directe du magnétisme terrestre, et j'ai obtenu pour la rotation des rayons jaunes D, traversant 1^c de sulfure de carbone à la température de 0°C., dans un champ magnétique égal à l'unité C.G.S., le nombre $\alpha = 0',0463$. Les conditions expérimentales ne permettaient pas de répondre d'une approximation supérieure à $\frac{1}{100}$. Je m'occupe actuellement de déterminer ce nombre avec une exactitude plus grande par la méthode même qui fait l'objet de la présente note.

Le nombre approché qui vient d'être cité permet d'évaluer l'approximation avec laquelle on peut mesurer l'intensité d'un courant électrique par cette méthode. En faisant usage d'une bobine comprenant 5.000 tours, un courant de 1 ampère donnerait une rotation de 291' environ pour les rayons jaunes D. En renversant le sens du courant, on aurait 582'. Or, dans la mesure optique, on ne peut faire une erreur de 1', on évalue même facilement 0',5, de sorte qu'il est très facile d'obtenir une approximation de 0^{amp},001 dans la mesure de l'intensité. On peut sans grande difficultés de construction réaliser une approximation encore plus grande, en multipliant le nombre des tours de la bobine.

Nous avons supposé le sulfure de carbone à la température de 0°C. Si la température est plus élevée, la rotation diminue. La formule de correction indiquée par M. Bichat est $r = r_0 (1 - 0,00104\,t - 0,000014\,t^2)$. On voit que cette correction est de $\frac{1}{1000}$ environ pour 1°, et, comme on peut facilement connaître la température du sulfure de carbone à moins de 1° près, il n'y aura pas d'erreur appréciable par le fait de la détermination des températures. Il importe de signaler, comme un des grands avantages de cette méthode, que le courant ne traverse pas le corps qui sert à faire la mesure, et

qu'il n'apporte pas ainsi directement une perturbation de température inhérente au passage de l'électricité ; du reste, il est très facile de préserver le sulfure de carbone de l'échauffement de la bobine.

Si l'on ajoute enfin que les indications de l'appareil sont instantanées, on verra que cette méthode réunit les avantages des procédés employés jusqu'ici, sans en avoir les inconvénients, puisqu'elle donne des résultats indépendants du magnétisme terrestre, et qu'elle ne comporte aucune mesure des dimensions de l'appareil : il suffit de compter le nombre absolu de tours de la bobine dont on fait usage.

Cette méthode paraît la plus pratique et la plus exacte pour étalonner les ampèremètres magnéto-électriques, dont l'emploi est si généralement répandu dans les laboratoires et dans l'industrie. (*Comptes rendus.*)

Sur un galvanomètre à mercure.

Note de M. G. Lippmann.

Un manomètre à mercure est placé entre les branches d'un aimant fixe, de telle manière que les deux pôles de l'aimant se trouvent à droite et à gauche de la branche horizontale du manomètre.

Le courant électrique que l'on veut mesurer est amené au mercure de cette branche horizontale, et il le traverse verticalement, c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe du tube. Il se produit dès lors une différence de niveau entre les deux branches du manomètre, différence proportionnelle à l'intensité du courant électrique. Dans l'instrument que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie, cette différence de niveau est égale à 62^{mm} pour un ampère.

Le système formé par un manomètre à mercure placé sous l'influence d'un aimant constitue donc un galvanomètre d'une construction très simple, et dont les indications sont exactement proportionnelles à l'intensité du courant électrique. La théorie de son fonctionnement est la suivante : la portion de

la colonne de mercure parcourue par le courant électrique représente un élément de courant mobile. Cet élément de courant tend à repousser l'aimant placé dans son voisinage, dans une direction déterminée par la règle d'Ampère. Comme l'aimant ici est immobile et que l'élément de courant est mobile, c'est l'élément qui se déplace ; la réaction qu'il subit produit une poussée hydrostatique qui se traduit par la dénivellation du mercure. Le mercure s'arrête dès que la pression hydrostatique fait équilibre à la poussée électromagnétique.

Soient i l'intensité du courant électrique et p la pression hydrostatique mesurée par la dénivellation du mercure. On peut calculer p en fonction de i. A cet effet, supposons, ce qui est le cas en réalité, que l'élément de courant ait la forme d'un petit parallélipipède rectangulaire dont la longueur, comptée dans le sens du courant électrique, soit l. La force électromagnétique qui tend à déplacer l'élément de courant est égale à

$$\mathrm{H}li,$$

H étant l'intensité du champ magnétique : telle est l'expression de la force. Pour avoir la valeur de la pression hydrostatique p, il faut diviser l'expression de la force par l'aire de la surface sur laquelle elle s'exerce. Cette surface est celle d'un côté du parallélipipède ; elle a pour dimensions la longueur l et l'épaisseur ε du parallélipipède comptée dans la direction des lignes de forces magnétiques ; l'aire de cette surface est donc $l\varepsilon$. En effectuant le quotient, on obtient

$$p = \frac{\mathrm{H}i}{\varepsilon}.$$

La sensibilité de l'instrument va donc en augmentant avec l'intensité magnétique et avec la minceur de la colonne de mercure.

En conséquence, on a armé les pôles de l'aimant de deux masses de fer doux qui arrivent presque en contact l'une de l'autre, et qui ne laissent entre elles qu'une sorte de fente où l'intensité magnétique est considérable et uniforme. Dans cet intervalle se trouve une petite chambre à mercure rectangulaire, qui fait partie de la branche horizontale du manomètre,

et qui est parcourue verticalement par le courant électrique. L'épaisseur ε de la lamelle de mercure parcourue par le courant n'est que de $\frac{1}{10}$ de millimètre.

La forme et les dimensions de cette lamelle sont telles que la poussée électromagnétique soit la même en tous ses points, et qu'il se produisent par conséquent un état d'*équilibre* du mercure, sans tourbillons intérieurs.

L'appareil est réversible : c'est-à-dire que, si l'on met le mercure en mouvement par une force mécanique, il naît un courant électrique dans le circuit qui réunit les pôles de l'appareil, qui constitue alors un électromoteur. (*Comptes rendus.*)

Les réseaux téléphoniques de l'État en France.

Il n'y a pas encore une année que l'État a entrepris l'exploitation directe des réseaux téléphoniques dans les villes, et déjà ce service nouveau a pris un développement rapide.

Un premier crédit de 250,000 francs a été demandé aux Chambres et accordé, en 1882, pour subvenir aux dépenses d'installation.

Les lignes sont construites par l'administration, à qui les frais d'établissement sont remboursés par les souscripteurs, qui doivent, en outre, se procurer à leurs frais les appareils et le sonnerie, et verser, à titre d'abonnement, une somme de 200 francs, par an, réduite à 170 francs lorsque le nombre des abonnés est supérieur à 300.

Malgré la date toute récente de l'ouverture du service, Reims est déjà la ville de France la mieux desservie sous le rapport des communications téléphoniques ; elle compte 210 abonnés, soit 23 par 10.000 habitants , tandis que Paris, Lyon et Bordeaux, où l'exploitation est concédée à la Société générale des téléphones, n'en ont que 14 ; Calais et Saint-Pierre-les-Calais, 22 ; le Havre, 18.

Le nombre des communications dans le réseau de Reims s'est élevé, pendant le mois de janvier, à près de 535 par jour. Sept dames sont employées à ce service, au poste central annexé au bureau télégraphique.

Des cabines spéciales, au nombre de 9, installées dans les bureaux de poste et de télégraphe, dans les pavillons de l'octroi et les stations de voitures publiques, permettent à toute personne de converser par téléphone avec tous les abonnés, moyennant une taxe de 25 centimes pour cinq minutes de conversation.

Les téléphones installés dans les établissements publics, tels que les cercles, les hôtels, les cafés et les restaurants, peuvent être mis à la disposition de la clientèle de ces établissements; aucune taxe supplémentaire n'est due à l'État tant que le montant de la taxe des conversations échangées n'excède pas le prix de l'abonnement ; au delà de cette limite, le propriétaire de l'établissement est redevable de la taxe ordinaire.

Enfin les abonnés qui en font la demande bénéficient de l'avantage de recevoir et de transmettre sans supplément de prix, par la voie téléphonique, les télégrammes qui leur sont adressés ou qu'ils ont à transmettre.

Le nombre des télégrammes expédiés et reçus dans ces conditions, par les abonnés, s'est élevé, pour le mois de janvier, à 1.519.

A Roubaix-Tourcoing, où un même réseau dessert les deux villes, le nombre des abonnés est de 180. Huit dames sont employées à ce service. Le nombre moyen de communications atteint 657 par jour. En outre, un bureau public, installé à Lille, permet aux habitants de cette ville de correspondre avec tous les abonnés de Roubaix et de Tourcoing.

L'exploitation du réseau téléphonique a commencé le 1er décembre à Saint-Quentin.

Un quatrième réseau est en construction à Troyes et sera ouvert prochainement; il compte déjà plus de 100 abonnés.

La France est aujourd'hui l'un des pays de l'Europe où l'usage du téléphone fait le plus de progrès.

Les réseaux téléphoniques actuellement en exploitation comptent 5,535 abonnés.

Sous ce rapport, la France a devancé l'Allemagne, qui ne compte actuellement que 4,000 abonnés dans 21 villes différentes.

Tandis que Paris, Lyon et Bordeaux comptent 14 abonnés

chacun par 10.000 habitants ; Calais et Saint-Pierre, 22 ; le Havre, 18 ; Reims, 23 ; Londres n'en compte que 5 seulement ; Berlin, 9 ; Vienne, 4 ; Bruxelles, 11.

(*Revue des postes et des télégraphes*).

Nécrologie.

M. J.-B. Dumas

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

La mort de M. J.-B. Dumas, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences et membre de l'Académie française, décédé à Cannes le 11 avril 1884, a causé l'impression la plus douloureuse et la plus pénible. Sa haute intelligence, ses grands travaux scientifiques, les titres si nombreux qu'il avait acquis à l'admiration du monde savant, le tact avec lequel il savait imprimer aux discussions les formes les plus courtoises, et la bienveillance qu'il témoignait aux jeunes travailleurs ont été rappelés dans les discours qui ont été prononcés sur sa tombe et dans les diverses réunions des sociétés savantes, aux travaux desquelles il avait pris part. Nous nous bornerons à mentionner ici les services qu'il a rendus à la science de l'électricité, dont il s'est occupé pendant les dernières années de sa vie comme président de la première section du Congrès international des électriciens de 1881 et comme président de la première commission de la conférence internationale des électriciens de 1882 (unités électriques proprement dites).

C'est en grande partie à lui qu'est due l'entente qui s'est établie entre les savants des divers pays pour l'adoption définitive des unités électriques absolues (Ohm, Ampère, Volt, Farad, Coulomb). Ces unités avaient été admises en principe à la Conférence internationale de 1881, il était nécessaire d'étudier les méthodes d'expérimentation pour fixer la véritable valeur de l'Ohm ; c'est ce qui a été fait à la Conférence de 1881, à la suite de laquelle les savants des divers pays se

sont mis à l'œuvre pour faire cette détermination expérimentale. La réunion nouvelle des délégués, qui avait été fixée au mois d'octobre 1883, a été ajournée au 28 avril 1884. M. Dumas était mort depuis seize jours, et n'a pu malheureusement prendre part aux délibérations de la Conférence; mais son souvenir était présent à tous et son nom restera éternellement attaché aux importantes décisions qui ont été prises.

Une autre question qui a été également traitée dans les conférences de 1881 et 1884, et à laquelle M. Dumas portait le plus vif intérêt, est celle de l'étalon de lumière. C'est, en effet, M. Dumas qui a signalé les importantes recherches de M. Violle sur la lumière émise par le platine incandescent, et qui a contribué à fournir à ce savant les moyens de poursuivre ses expériences, à la suite desquelles l'étalon proposé a été admis à l'unanimité. Cet étalon n'a pas encore reçu de nom : pourquoi ne lui donnerait-on pas celui de l'illustre savant auquel on en doit l'idée ? B.

M. d'Arlincourt

La mort de M. du Moncel, que nous annoncions dans notre dernier numéro, a été suivie de près de celle d'un autre savant électricien, M. le comte Ludovic d'Arlincourt, qui, bien qu'à peine âgé de quarante-six ans, était depuis plusieurs années réduit à l'inaction par une douloureuse maladie.

Parmi les inventions dont la télégraphie est redevable à M. d'Arlincourt, nous rappellerons : celle d'un appareil imprimeur à échappement qui est resté en usage, principalement sur les lignes de chemin de fer, jusqu'en ces derniers temps ; puis celle d'un appareil autographique, très ingénieusement disposé, et qui a fourni des épreuves d'une netteté et d'une exactitude que n'a pu atteindre aucun des systèmes analogues qui se sont produits depuis; enfin, celle d'un relais particulièrement propre aux translations établies sur les longues lignes aériennes et sur les câbles souterrains.

Chevalier, puis officier de la Légion d'honneur, M. d'Arlincourt avait obtenu des médailles d'or aux expositions de Paris de 1867, 1878 et 1881, et un diplôme d'honneur, en 1873, à l'Exposition de Vienne. Ci.

M. Bontemps

L'administration des lignes télégraphiques françaises vient de perdre l'un de ses fonctionnaires les plus distingués dans la personne de M. Charles Bontemps, inspecteur-ingénieur.

Né le 13 mars 1839, à Belfort, Bontemps fut admis à l'École polytechnique en 1858, d'où il sortit en novembre 1860 avec le titre d'élève-inspecteur.

Il entra dans l'administration à la veille d'une transformation qu'elle devait subir sous la direction de M. de Vougy et qui eut pour effet de le charger de la gestion successives de divers bureaux en qualité de directeur de station; fonctions qui n'étaient nullement appropriées à ses aptitudes.

Mais elles lui ont donné l'occasion de poursuivre une étude qu'il publia en 1863 dans les *Annales télégraphiques*, sur les divers genres d'écritures télégraphiques et qui témoigne déjà de son esprit investigateur.

Ce ne fut qu'en 1867, alors que le projet d'établissement pneumatique dans Paris fut décidé, qu'il trouva sa véritable voie.

Attaché à ce service comme adjoint de M. Baron, qui avait élaboré et présenté le projet, il resta son collaborateur et celui de tous les directeurs de Paris qui lui ont succédé jusqu'à ce jour pour l'exécution de cette œuvre à laquelle son nom mérite de rester intimement lié.

Le réseau des tubes, commencé en 1867, sera complètement terminé en 1884; Bontemps faisait approuver le tracé des dernières lignes, lorsqu'une mort subite le frappa dans la force de l'âge et en pleine maturité d'esprit.

Tout le plan et le mode d'exploitation du réseau pneumatique de Paris se trouve exposé dans un ouvrage qu'il publia en 1876 sur les divers systèmes télégraphiques.

Ses connaissances et ses études en ces matières le désignèrent tout naturellement au choix de l'administration pour le cours de télégraphie, lorsque la création d'une école supérieure de télégraphie fut décidée.

Ce fut aussi sa participation à l'installation des tubes de Paris qui lui fit attribuer à juste titre une mission à l'Exposi-

tion de 1873, mission dont il rendit compte dans les *Annales* (année 1874).

Membre du comité des *Annales télégraphiques*, Bontemps collaborait en outre à divers recueils périodiques, tels que *la Lumière électrique*, *l'Électricité*, etc.; et nous croyons savoir qu'il préparait les éléments d'un travail sur le transport de force par l'électricité.

C'était là du reste une de ses préoccupations de vieille date, qui l'avait mis en rapports fréquents avec M. Marcel Deprez.

Ainsi, il avait songé à faire l'application de cette idée au transport des dépêches par tubes, pour éviter l'emploi de l'air comprimé, dont le rendement est très peu économique.

Des essais ont été réalisés sans donner de résultats de nature à affirmer la possibilité d'une solution pratique.

La question était prématurée, mais l'idée pourrait bien faire son chemin; et si la carrière de M. Bontemps n'avait pas été si vite brisée, qui sait ce que lui réservait l'avenir ?

Son esprit ouvert, sa nature sympathique le rendaient d'un commerce facile et lui créaient des relations dont il savait faire profiter les intérêts qui lui étaient confiés.

D'un dévouement filial qui ne s'est jamais démenti, il laisse dans sa famille un vide dont nous comprenons toute l'étendue.

Et nous avons eu le témoignage des regrets que cause sa perte inattendue, dans le concours des amis et collaborateurs qui lui ont fait cortège jusqu'au champ du repos.

Nous lui envoyons dans sa tombe un dernier salut amical.

C.

Le Gérant : DUNOD. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1884 Mai-Juin

NOTE
SUR
LES TRANSMISSIONS TÉLÉPHONIQUES.

Lorsqu'on émet un son devant un transmetteur téléphonique, l'intensité du son perçu dans le récepteur dépend de la nature de ces deux appareils, du dispositif employé pour la transmission, de la résistance et de la capacité de la ligne téléphonique, etc. En outre, pour une même intensité du son émis, celle du son perçu varie avec sa hauteur, de telle sorte qu'il y a simultanément affaiblissement d'intensité et altération du timbre. Nous n'examinerons pas ici quel est le rôle mécanique des plaques vibrantes dans la transformation de l'énergie des ondes sonores en énergie électrique et réciproquement. Nous ferons seulement remarquer à cet égard que si les appareils sont bien construits, leur influence peut se traduire par un affaiblissement du son, mais non par une altération

sensible du timbre, comme cela résulte de l'expérience journalière que l'on fait sur des lignes courtes. Le problème que nous nous proposons de traiter est l'analyse des causes *électriques* qui peuvent influer sur la transmission : capacité et résistance de la ligne téléphonique, dispositif employé (transmetteur magnétique, microphone avec ou sans bobine d'induction, emploi de condensateurs), induction sur elles-mêmes des bobines qui sont dans le circuit, etc.

Nous simplifierons ce problème en supposant qu'au lieu de la voix articulée il s'agisse d'un son simple continu; c'est le cas le plus favorable pour une bonne transmission. L'intensité i du courant dans le récepteur pourra alors être représentée par une fonction sinusoïdale du temps : $i = \mathrm{I} \sin mt$, la hauteur du son étant $\frac{m}{2\pi}$. Pour un récepteur donné et une hauteur de son déterminée, l'intensité du son perçu sera proportionnelle au carré de I. Tout revient donc à voir comment I dépend des causes ci-dessus.

Si l'on avait une ligne de capacité C et de résistance R, ayant une self-induction nulle et soumise à la force électro-motrice $\varepsilon = \mathrm{E} \sin m(t - \theta)$, E et θ étant des constantes, l'intensité du courant serait elle-même une fonction sinusoïdale du temps. Mais comme elle n'est pas la même en tous les points du circuit, nous représenterons l'intensité à l'extrémité voisine de la force électromotrice par :

$$\left.\begin{aligned} i_0 &= \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}} [\varphi_0 \sin m(t-\theta) + \psi_0 \cos m(t-\theta)] \\ &= \frac{1}{\mathrm{R}} \left(\varphi_0 \varepsilon + \frac{\psi_0}{m} \frac{d\varepsilon}{dt} \right), \end{aligned}\right\} \quad (\mathrm{I}_0)$$

et à l'autre bout de la ligne par :

$$\left.\begin{aligned} i &= \frac{E}{R}\left[\varphi \sin m(t-\theta) + \psi \cos m(t-\theta)\right] \\ &= \frac{1}{R}\left(\varphi\varepsilon + \frac{\psi}{m}\frac{d\varepsilon}{dt}\right), \end{aligned}\right\} \quad (I)$$

φ_0, ψ_0, φ et ψ étant des coefficients qui dépendent des valeurs de C et de R, de la manière dont la capacité C est répartie le long de la ligne et en outre de la valeur de m. Nous verrons plus loin qu'ils sont fonctions du produit CRm et non de C, R, m séparément ; et nous donnerons le calcul de ces coefficients avec une table numérique de leurs valeurs. Pour le moment nous les supposerons connus.

Les formules (I_0) et (I) peuvent se mettre sous la forme :

$$i_0 = \frac{E}{R}\sqrt{\varphi_0^2 + \psi_0^2}\sin m(t-\theta'_0) = K_0\frac{E}{R}\sin m(t-\theta'_0),$$
$$i = \frac{E}{R}\sqrt{\varphi^2 + \psi^2}\sin m(t-\theta') = K\frac{E}{R}\sin m(t-\theta').$$

I. FORCE ÉLECTROMOTRICE DÉVELOPPÉE DANS LES APPAREILS TÉLÉPHONIQUES.

Nous allons passer en revue les principaux dispositifs téléphoniques employés et montrer que tous peuvent être ramenés au cas d'une ligne soumise à une force électromotrice $E \sin m(t-\theta)$; de telle sorte que l'intensité du courant dans le récepteur est toujours de la forme $K\frac{E}{R}\sin m(t-\theta')$, la valeur de E étant à déterminer dans chaque cas. Il en résultera que l'intensité du son perçu sera proportionnelle à $\left(K\frac{E}{R}\right)^2$.

1[er] CAS. *Transmetteur et récepteur magnétiques pla-*

cés dans le même circuit. — Les vibrations de la plaque du transmetteur sous l'action des ondes sonores font varier le champ magnétique de l'instrument, et si l'on désigne par Q le flux de force magnétique à travers la bobine enroulée autour du noyau aimanté, on aura :

$$Q = Q_0 + q \sin mt,$$

Q_0 étant la valeur moyenne de Q et q son écart maximum. On sait que cette variation du champ magnétique induit dans la bobine une force électromotrice égale à $\frac{dQ}{dt}$ ou $mq \cos mt$. En outre, L désignant le coefficient de self-induction du transmetteur et i_0 l'intensité du courant qui le traverse, ce courant induit une force électromotrice inverse égale à $\left(-L\frac{di_0}{dt}\right)$. La force électromotrice totale ε qui engendrera le courant sera donc :

$$\varepsilon = mq \cos mt - L\frac{di_0}{dt}.$$

Si nous négligeons pour le moment la self-induction (nous verrons plus loin comment elle modifie les calculs), cette formule se réduit à : $\varepsilon = mq \cos mt = E \cos mt$, et l'on pourra appliquer les formules :

$$i_0 = K_0 \frac{E}{R} \sin m(t - \theta'_0),$$

$$i = K \frac{E}{R} \sin m(t - \theta'),$$

pour calculer les intensités du courant aux deux extrémités de la ligne. A cet effet, on mesurera la capacité C et la résistance R de la ligne par les méthodes connues ; puis, étant connue également la hauteur du

son $\frac{m}{2\pi}$, on calculera le produit C Rm, et les valeurs de K et de K_0 correspondantes seront données par la table qu'on trouvera plus loin. Quant au facteur $E = mq$, pour avoir sa valeur absolue il faudrait avoir celle de q, qui dépend de la construction de l'appareil; nous ne nous occuperons pas ici de sa détermination.

2[e] Cas. *Transmetteur microphonique et récepteur placés dans un même circuit.* — Au poste transmetteur on a une pile de force constante e et un microphone dont la résistance variable est $(r + \rho \sin mt)$. Si I_0 désigne l'intensité du courant dans le microphone, tout se passera comme si, sa résistance restant constante et égale à r, la force électromotrice était variable et égale à $(e - I_0 \rho \sin mt)$. La force e seule produisant un courant constant $\frac{e}{R}$, l'action sur le récepteur téléphonique sera due uniquement à la force $I_0 \rho \sin mt = \varepsilon$. Comme la variation ρ de résistance du microphone est assez faible, I_0 diffère très peu de $\frac{e}{R}$, et par suite, en négligeant les termes du second ordre en ρ on peut écrire :

$$\varepsilon = \frac{e}{R} \rho \sin mt = E \sin mt.$$

On est ainsi ramené au même cas que précédemment, sauf que, au lieu d'avoir : $E = mq$, on a :

$$E = e \frac{\rho}{R}.$$

3[e] Cas. — *Transmetteur microphonique en dérivation.* Soit e la force de la pile au poste transmetteur, R_0 sa résistance, $(r + \rho \sin mt)$ la résistance du mi-

crophone, lequel est placé en dérivation entre les deux pôles de la pile ; enfin soit R_1 la résistance de la ligne et $\left(R = R_1 + \frac{R_0 r}{R_0 + r}\right)$ la résistance totale du circuit. Si I désigne l'intensité du courant qui traverse le microphone, la variation de résistance $\rho \sin mt$ de celui-ci peut être remplacée par une force électromotrice $I \rho \sin mt$. La force e donnant un courant constant sur la ligne, la force fictive $I \rho \sin mt$ agira seule sur le récepteur téléphonique ; mais comme elle est en dérivation entre les extrémités de la résistance R_0, son effet sur la ligne sera, ainsi qu'on le sait, le même que celui d'une force égale à : $I \rho \sin mt \frac{R_0}{R_0 + r} = \varepsilon$. A cause de la petitesse de ρ, l'intensité I diffère très peu de la valeur constante qu'elle aurait si ρ était nul, c'est-à-dire $\frac{e R_1}{R_0 r + R_0 R_1 + R_1 r} = \frac{e R_1}{R(R_0 + r)}$. Tout se passe donc comme si la ligne était soumise à l'action de la force ε :

$$\varepsilon = e \frac{\rho}{R} \frac{R_0 R_1}{(R_0 + r)^2} \sin mt = E \sin mt.$$

Le cas du microphone en dérivation ne diffère du précédent qu'en ce que E est multiplié par $\frac{R_0 R_1}{(R_0 + r)^2}$. Comme ce facteur est en général beaucoup plus grand que l'unité, on aura avantage à employer ce dispositif. Il est à remarquer d'ailleurs que si l'intensité du courant est ainsi renforcée, l'usure de la pile sera beaucoup plus considérable ; mais on ne s'arrête pas à cette considération.

4[e] CAS. *Microphone avec bobine d'induction.* — Soient : e la force électromotrice de la pile, $(R' + \rho \sin mt)$

la résistance du circuit primaire, L' son coefficient de self-induction. Nous représenterons par $\left(\frac{e}{R'} + i'\right)$ l'intensité variable du courant dans ce circuit. Soient en outre : M le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits, L le coefficient de self-induction du circuit secondaire de la bobine, i_0 l'intensité du courant qui la traverse.

Le circuit primaire étant soumis à la force e et aux forces induites $\left(-L'\frac{di'}{dt}\right)$ et $M\frac{di_0}{dt}$, on aura :

$$e - (R' + \rho \sin mt)\left(\frac{e}{R'} + i'\right) - L'\frac{di'}{dt} + M\frac{di_0}{dt} = 0,$$

ou bien en négligeant le terme en $\rho i'$, qui est du second ordre par rapport à ρ :

$$R'i' + L'\frac{di'}{dt} = -e\frac{\rho}{R'}\sin mt + M\frac{di_0}{dt}.$$

Différentions cette équation, en remarquant que l'on a : $\frac{d^2i'}{dt^2} = -m^2 i'$ et $\frac{d^2i_0}{dt^2} = -m^2 i_0$, puisque i' et i_0 sont de la forme $a \sin m(t - \theta)$. Il vient :

$$R'\frac{di'}{dt} - L'm^2 i' = -\frac{e\rho}{R'} m \cos mt - Mm^2 i_0.$$

En éliminant i' entre cette équation et la précédente on en tire :

$$(R'^2 + L'^2m^2)\frac{di'}{dt} = -e\frac{\rho}{R'} m(R' \cos mt + L'm \sin mt)$$
$$+ Mm^2\left(L'\frac{di_0}{dt} - R'i_0\right).$$

D'autre part l'induction du circuit primaire sur le circuit secondaire et la self-induction de celui-ci y

développent une force ε_0 égale à :

$$\varepsilon_0 = M \frac{di'}{dt} - L \frac{di_0}{dt},$$

soit, en remplaçant $\frac{di'}{dt}$ par l'expression que nous venons de calculer plus haut :

$$\varepsilon_0 = - e \frac{\rho}{R'} Mm \frac{R' \cos mt + L'm \sin mt}{R'^2 + L'^2 m^2}$$
$$- \left(L - L' \frac{M^2 m^2}{R'^2 + L'^2 m^2}\right) \frac{di_0}{dt} - R' \frac{M^2 m^2}{R'^2 + L'^2 m^2} i_0,$$

ou encore :

$$\varepsilon_0 = \varepsilon - \lambda \frac{di_0}{dt} - ri_0,$$

en posant, pour simplifier :

$$\varepsilon = - e \frac{\rho}{R'} Mm \frac{R' \cos mt + L'm \sin mt}{R'^2 + L'^2 m^2}$$
$$= e \frac{\rho}{R'} \frac{Mm}{\sqrt{R'^2 + L'^2 m^2}} \sin m(t - \theta),$$
$$\lambda = L - L' \frac{M^2 m^2}{R'^2 + L'^2 m^2},$$
$$r = R' \frac{M^2 m^2}{R'^2 + L'^2 m^2}.$$

Cette formule montre que tout se passe comme si, abstraction faite du circuit primaire, on développait sur le circuit secondaire une force ε, le coefficient de self-induction apparent de ce circuit n'étant plus que λ au lieu de L, et sa résistance apparente étant augmentée de r. A part ces modifications relatives à λ et à r, pour comparer ce dispositif téléphonique avec les précédents, il suffira donc de comparer les valeurs de ε. Ici nous avons :

$$\varepsilon = e \frac{\rho}{R'} \frac{Mm}{\sqrt{R'^2 + L'^2 m^2}} \sin m(t - \theta) = E_1 \sin m(t - \theta).$$

Comme la valeur de E contient de nouveaux éléments, savoir les coefficients M et L′, ainsi que m, on conçoit que la bobine d'induction, convenablement construite, puisse ajouter beaucoup à la transmission téléphonique. La discussion de cette formule est extrêmement simple, elle peut servir de guide pour la construction de la bobine.

Cas d'un condensateur embroché sur la ligne téléphonique. — Supposons la ligne coupée en un point quelconque par un condensateur de capacité c. Si v désigne la chute du potentiel, dans le sens du courant i, d'une armature à l'autre du condensateur, celui-ci engendre une force électromotrice $-v$. Mais on a : $i = c\frac{dv}{dt}$; d'où, en différentiant et remplaçant $\frac{d^2v}{dt^2}$ par $(-m^2v)$:

$$-v = \frac{1}{cm^2}\frac{di}{dt}.$$

L'effet du condensateur est donc exactement le même que celui d'une bobine dont le coefficient de self-induction serait $\left(-\frac{1}{cm^2}\right)$.

En particulier, si à côté d'une bobine dont le coefficient est L on place un condensateur c, l'ensemble agira comme une seule bobine de coefficient $\left(L - \frac{1}{cm^2}\right)$. La bobine et le condensateur séparément auraient pour effet d'affaiblir le courant ; on voit que les deux réunis se corrigent en partie. Si même on a soin de prendre $c = \frac{1}{Lm^2}$, les effets de la bobine et du condensateur se détruisent mutuellement. De là un moyen de supprimer l'effet nuisible de la self-induction en pla-

çant à côté de chaque bobine un condensateur convenablement calculé. Ce moyen, il est vrai, ne serait rigoureusement applicable qu'au cas d'un son simple continu, de hauteur et d'intensité constantes, puisque nous nous sommes appuyés sur la formule : $\frac{d^2v}{dt^2} = -m^2v$, qui n'est exacte que si v est de la forme $a \sin m(t-\theta)$. Toutefois, même pour la parole articulée, on aurait peut-être là un moyen de corriger en partie les effets nuisibles de la self-induction par l'emploi de condensateurs que l'on calculerait d'après la hauteur moyenne des sons émis, ou plutôt que l'on déterminerait par l'expérience.

Les calculs précédents suffisent pour montrer comment on pourrait appliquer le calcul à d'autres dispositifs que ceux que nous avons étudiés. Nous allons maintenant faire le calcul des coefficients $\varphi, \psi, K, \varphi_0, \psi_0, K_0$.

II.

INFLUENCE DE LA CAPACITÉ ET DE LA RÉSISTANCE DE LA LIGNE SUR LA TRANSMISSION TÉLÉPHONIQUE.

Calcul des coefficients $\varphi, \psi, K, \varphi_0, \psi_0, K_0$. — Nous supposerons d'abord, pour simplifier, que la capacité totale C soit répartie d'une manière continue et uniforme le long du circuit, ce qui n'est pas exact puisque la ligne est prolongée à chacune de ses extrémités par les appareils, dont la capacité électrostatique peut être considérée comme négligeable. En outre, nous admettrons, suivant les idées de Sir W. Thomson, l'assimilation de la propagation de l'élec-

tricité sur les lignes télégraphiques à celle de la chaleur dans un conducteur. Les phénomènes de charge résiduelle et d'autres encore peu connus resteront ainsi en dehors de cette analyse. Nous aurons au moins une première approximation; toutefois il n'est pas impossible que les conclusions qu'on trouvera plus loin soient modifiées par les causes dont nous ne tenons pas compte.

Si Rx est la résistance de la ligne depuis le commencement jusqu'en un point où le potentiel est V, on sait que V doit satisfaire à l'équation aux différences partielles :

$$\frac{\delta^2 V}{\delta x^2} = CR \frac{\delta V}{\delta t}.$$

La force électromotrice à l'origine étant E sin mt, V est évidemment de la forme :

$$V = -E(A \sin mt + B \cos mt),$$

A et B étant des fonctions de x seulement. L'intensité du courant au même point est donnée par la formule :

$$i = -\frac{dV}{d(Rx)} = \frac{E}{R}\left(\frac{dA}{dx}\sin mt + \frac{dB}{dx}\cos mt\right),$$

et l'on voit que φ_0 et ψ_0 sont précisément les valeurs de $\frac{dA}{dx}$ et $\frac{dB}{dx}$ pour $x = o$:

$$\varphi_0 = \left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}, \quad \psi_0 = \left(\frac{dB}{dx}\right)_{x=0},$$

De même en faisant $x = 1$ on a l'autre extrémité de la ligne, et par suite :

$$\varphi = \left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=1}, \quad \psi = \left(\frac{dB}{dx}\right)_{x=1}.$$

Or, si l'on remplace V par $-E(A\sin mt + B\cos mt)$ dans l'équation aux différences partielles, on trouve que A et B doivent remplir les deux conditions :

$$\frac{d^2A}{dx^2} + CRmB = 0,$$
$$\frac{d^2B}{dx^2} - CRmA = 0.$$

L'intégration de ces deux équations différentielles linéaires à coefficients constants donne, en posant :

$$\alpha = \sqrt{\frac{CRm}{2}}$$

$$A = e^{\alpha x}(M\cos\alpha x + N\sin\alpha x) + e^{-\alpha x}(P\cos\alpha x + Q\sin\alpha x),$$
$$B = e^{\alpha x}(-N\cos\alpha x + M\sin\alpha x) + e^{-\alpha x}(Q\cos\alpha x - P\sin\alpha x),$$

M, N, P, Q étant quatre constantes à déterminer d'après les conditions du problème. Ces conditions sont que V doit se réduire à $E\sin mt$ pour $x = o$ et à o pour $x = 1$; c'est-à-dire :

$$(A)_{x=0} = M + P = -1,$$
$$(B)_{x=0} = -N + Q = 0,$$
$$(A)_{x=1} = e^{\alpha}(M\cos\alpha + N\sin\alpha) + e^{-\alpha}(P\cos\alpha + Q\sin\alpha) = 0,$$
$$(B)_{x=1} = e^{\alpha}(-N\cos\alpha + M\sin\alpha) + e^{-\alpha}(Q\cos\alpha - P\sin\alpha) = 0.$$

De ces quatre équations on tirera M, N, P, Q en fonction de α. Puis on calculera les expressions de $\frac{dA}{dx}$, $\frac{dB}{dx}$, et l'on y fera successivement $x = o$ et $x = 1$. On trouve finalement, en remplaçant $\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}$ par φ_0, etc.:

$$\varphi_0 = \alpha \frac{e^{2\alpha} - e^{-2\alpha} + 2\sin 2\alpha}{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\alpha},$$

$$\psi_0 = \alpha \frac{e^{2\alpha} - e^{-2\alpha} - 2\sin 2\alpha}{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\alpha},$$

$$\varphi = 2\alpha \frac{e^{\alpha}(\cos\alpha + \sin\alpha) - e^{-\alpha}(\cos\alpha - \sin\alpha)}{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\alpha},$$

$$\psi = 2\alpha \frac{e^{\alpha}(\cos\alpha - \sin\alpha) - e^{-\alpha}(\cos\alpha + \sin\alpha)}{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\alpha},$$

et par suite :

$$K_0 = \sqrt{\varphi_0^2 + \psi_0^2} = \alpha\sqrt{2}\,\frac{\sqrt{e^{4\alpha} + e^{-4\alpha} - 2\cos 4\alpha}}{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\alpha},$$

$$K = \sqrt{\varphi^2 + \psi^2} = \frac{2\alpha\sqrt{2}}{\sqrt{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\alpha}}.$$

On voit que les valeurs de ces coefficients ne dépendent que de α ou, ce qui revient au même, de CRm, comme nous l'avions annoncé. Voici une table de leurs valeurs en fonction de CRm :

CR m	φ_0	ψ_0	K_0	φ	ψ	K
0	1,000	0,000	1,000	+ 1,000	0,000	1,000
1	1,022	0,331	1,154	+ 0,981	− 0,165	0,994
2	1,086	0,650	1,266	+ 0,926	− 0,318	0,979
3	1,184	0,948	1,517	+ 0,841	− 0,450	0,954
4	1,309	1,216	1,787	+ 0,735	− 0,554	0,920
5	1,450	1,455	2,054	+ 0,619	− 0,630	0,883
6	1,599	1,664	2,308	+ 0,499	− 0,678	0,842
7	1,750	1,847	2,544	+ 0,382	− 0,702	0,799
8	1,898	2,006	2,762	+ 0,271	− 0,705	0,768
9	2,040	2,147	2,962	+ 0,175	− 0,693	0,715
10	2,174	2,273	3,145	+ 0,088	− 0,668	0,674
12	2,420	2,492	3,468	− 0,051	− 0,597	0,599
14	2,637	2,681	3,760	− 0,150	− 0,511	0,532
16	2,833	2,856	4,023	− 0,215	− 0,421	0,473
18	3,010	3,018	4,263	− 0,254	− 0,338	0,422
20	3,174	3,173	4,489	− 0,274	− 0,262	0,379
22	3,328	3,322	4,701	− 0,279	− 0,195	0,340
24	3,473	3,465	4,906	− 0,274	− 0,137	0,307
26	3,613	3,604	5,103	− 0,263	− 0,088	0,277
28	3,747	3,744	5,298	− 0,247	− 0,046	0,251
30	3,876	3,870	5,477	− 0,228	+ 0,0001	0,228
34	4,125	4,121	5,830	− 0,185	+ 0,037	0,189
38	4,360	4,357	6,163	− 0,143	+ 0,070	0,158
42	4,583	4,581	6,480	− 0,105	+ 0,081	0,133
46	4,796	4,796	6,782	− 0,072	+ 0,086	0,112
50	5,000	5,000	7,071	− 0,045	+ 0,084	0,095
55	5,244	5,244	7,416	− 0,020	+ 0,076	0,078
60	5,477	5,477	7,746	− 0,001	+ 0,065	0,065
70	5,916	5,916	8,366	+ 0,018	+ 0,041	0,045
80	6,325	6,325	8,944	+ 0,024	+ 0,022	0,032
90	6,708	6,708	9,487	+ 0,022	+ 0,008	0,023
100	7,071	7,071	10,000	+ 0,017	− 0,000	0,017
120	7,746	7,746	10,954	+ 0,007	− 0,006	0,009
140	8,367	8,367	11,832	+ 0,0015	− 0,0053	0,0055
160	8,944	8,944	12,649	− 0,0010	− 0,0031	0,0033
180	9,487	9,487	13,416	− 0,0015	− 0,0013	0,0020
200	10,000	10,000	14,142	− 0,0011	− 0,0003	0,0012
500	15,811	15,811	22,360	»	»	$10^{-6} \times 6$
1000	22,360	22,360	31,622	»	»	$10^{-9} \times 12$

Les valeurs de φ et de ψ sont, comme on le voit, tantôt positives, tantôt négatives. Ce fait, qui n'influe d'ailleurs que sur la phase du mouvement vibratoire dans le récepteur téléphonique, est ici de peu d'importance. Mais on remarquera que les coefficients φ, ψ et K vont en décroissant assez rapidement, tandis que φ_0, ψ_0, et K_0 vont au contraire en croissant constamment avec CRm. Il en résulte que l'intensité du son perçu sera plus grande dans un récepteur placé près du transmetteur que dans un récepteur placé à l'autre extrémité de la ligne. La différence d'intensité sera d'autant plus sensible que CRm sera plus grand, et elle pourra devenir considérable comme cela résulte de l'inspection du tableau.

Si l'on prend des lignes de plus en plus longues, CRm et par suite $\alpha = \sqrt{\frac{CRm}{2}}$ deviennent de plus en plus grands, et pour des valeurs suffisamment grandes on peut simplifier les formules de K et de K_0 et écrire :

$$K = 2\alpha\sqrt{2}e^{-\alpha} = 2\sqrt{CRm}\,e^{-\sqrt{\frac{CRm}{2}}},$$
$$K_0 = \alpha\sqrt{2} = \sqrt{CRm}.$$

D'autre part, si l'on néglige la self-induction des appareils, les intensités i et i_0 du courant aux deux extrémités de la ligne seront :

$$i = K\frac{E}{R}\sin m(t-\theta) = 2E\sqrt{\frac{Cm}{R}}\,e^{-\sqrt{\frac{CRm}{2}}}\sin m(t-\theta),$$
$$i_0 = K_0\frac{E}{R}\sin m(t-\theta_0) = E\sqrt{\frac{Cm}{R}}\sin m(t-\theta_0),$$

C et R croissant proportionnellement à la longueur de la ligne, leur rapport $\frac{C}{R}$ reste constant. On voit donc

que i_0 restera sensiblement constant, tandis que i, qui renferme en facteur l'exponentielle $e^{-\sqrt{\frac{CRm}{2}}}$ aura une décroissance très rapide. Si la valeur de CRm peut être considérée pratiquement comme infinie (cas d'une longue ligne souterraine), la réception téléphonique restera très bonne près du transmetteur et ne diminuera pas d'intensité même lorsqu'on isolera la ligne à l'autre bout ; à l'autre bout au contraire on n'entendra plus rien. Bien plus, on voit que i_0 sera d'autant plus grand que la capacité C elle-même sera plus grande ; c'est-à-dire que la capacité électrostatique de la ligne est favorable à l'audition près du transmetteur, tandis qu'elle lui est nuisible à l'autre extrémité. Ceci démontre que les essais de systèmes téléphoniques faits avec transmetteur et récepteur à une même extrémité de la ligne n'ont aucune valeur, à moins évidemment que la ligne ne soit assez courte.

Le tableau ci-dessus permet d'ailleurs de se rendre compte de ce que l'on doit entendre par ligne assez courte. C'est une ligne dont la capacité n'est pas assez grande pour modifier sensiblement l'intensité de la réception téléphonique, c'est-à-dire pour laquelle les valeurs de K et de K_0 sont sensiblement égales à 1. Prenons comme exemple une ligne souterraine de réseau urbain dont la longueur est de 10 kilomètres, sa résistance et sa capacité par kilomètre étant de 10 ohms et de $0^{mf},3$. On aura $R = 10 \times 10 = 100$ et $C = 0,3 \times 10^{-6} \times 10 = 3 \times 10^{-6}$. Nous prendrons d'ailleurs $m = 2000$, ce qui correspond à une hauteur de son $\frac{m}{2\pi} = 318$. Alors $CRm = 0,6$; les valeurs correspondantes de K et de K_0 sont sensiblement égales

à 1, et par suite cette ligne sera considérée comme une ligne courte. On verrait qu'au contraire une ligne de même nature, mais de 50 kilomètres de longueur, doit être considérée comme une ligne longue, car alors on a :

$$CRm = 15, \quad K_0 = 3,888 \quad \text{et} \quad K = 0,501.$$

Distance à laquelle les transmissions téléphoniques sont possibles. — On peut se proposer de rechercher dans quelles conditions et jusqu'à quelle distance la transmission téléphonique est possible. La discussion des formules précédentes permet de se convaincre que l'on se trouve ici dans des conditions tout autres qu'en télégraphie, et qu'à moins de sacrifices hors de proportions la transmission à toute distance parait bien difficile. D'abord, pour se placer dans les meilleures conditions possibles, il est nécessaire, non seulement d'améliorer la conductibilité des fils employés, mais encore de réduire leur capacité à sa valeur minimum. Cette condition est l'exclusion absolue des lignes souterraines pour la téléphonie à grande distance. Un simple exemple va nous le montrer. Considérons deux lignes de 160 kilomètres chacune (Paris-Reims) : la première, aérienne, ayant 10 ohms et $0^{mf},01$ par kilomètre; la seconde, souterraine, ayant $7^{ohms},5$ et $0^{mf},2$. Si l'on prend $m = 2000$, pour la première on aura $R = 1600$ et $CRm = 5$ environ, par suite $K = 0,883$; ce qui donne une intensité de courant :

$$i = K \frac{E}{R} \sin m(t - \theta) = \frac{0,883}{1600} E \sin m(t - \theta),$$

en négligeant l'influence des appareils. Pour la seconde ligne :

$$R = 1200, \quad CRm = 75, \quad K = 0,038;$$

d'où :

$$i = \frac{0,038}{1200} \mathrm{E} \sin m(t - \theta').$$

L'intensité est donc beaucoup plus grande sur la ligne aérienne, quoique sa résistance soit notablement plus forte que celle de la ligne souterraine. Le rapport des intensités de courant est $\frac{0,883 \times 1200}{0,038 \times 1600} = 17,5$ environ ; en l'élevant au carré, on trouve 306, qui représente le rapport des intensités du son dans les deux cas. La ligne souterraine est donc absolument impropre aux communications téléphoniques.

Si I désigne l'intensité minimum nécessaire pour faire fonctionner suffisamment un récepteur, il faut que l'on ait : $\mathrm{K}\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}} \geqq \mathrm{I}$. Cette condition limitera la transmission téléphonique à une distance qu'il est facile de calculer. En effet, avec un dispositif et des appareils donnés, le minimum I d'intensité nécessaire et la force électromotrice disponible E sont déterminés. La condition précédente peut donc s'écrire : $\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{R}} \geqq a$, a ayant une valeur connue. Dès lors $\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{R}}$ dépendant de la longueur l de la ligne, de sa capacité spécifique γ et de sa résistance spécifique ρ, lorsqu'on se donnera deux de ces trois quantités, le maximum qu'il est possible d'attribuer à la troisième se calculera par tâtonnement, à l'aide de la table des valeurs de K. On pourra, par exemple, calculer la conductibilité à donner au fil pour atteindre une certaine distance. Mais lorsqu'on aura donné à la capacité γ et à la résistance ρ leurs valeurs minima, qui sont limitées : pour la première, par la

hauteur à laquelle on peut poser un fil au-dessus du sol, et pour la seconde par le diamètre qu'on ne veut pas dépasser, la distance à laquelle on pourra communiquer téléphoniquement se trouvera elle-même limitée. Et il est à remarquer que, si l'on voulait dépasser cette limite, on serait conduit à augmenter le diamètre du fil, non pas dans une faible proportion, mais à peu près en raison directe de la longueur; car, pour de grandes valeurs de C$\mathrm{R}m$, $\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{R}}$ se réduit à

$$2\sqrt{\frac{\mathrm{C}m}{\mathrm{R}}}\,e^{-\sqrt{\frac{\mathrm{CR}m}{2}}} = 2\sqrt{\frac{\gamma m}{\rho}}\,e^{-l\sqrt{\frac{\gamma\rho m}{2}}}.$$

Une telle solution évidemment ne serait pas admissible.

A la rigueur, toutefois, on peut concevoir que, grâce à une augmentation considérable de la force électromotrice E et de la puissance des récepteurs, au prix de grands sacrifices, on arrive à transmettre la parole à de très grandes distances. Mais, indépendamment de l'affaiblissement du son, il est un autre obstacle beaucoup plus sérieux : c'est l'altération du timbre de la voix. Tant que cette altération est assez faible, la transmission est possible. Mais dès que C$\mathrm{R}m$ atteint une certaine valeur, il n'en est plus ainsi. Prenons, par exemple, le cas d'un son composé d'un son fondamental et de son octave. Si pour le son fondamental la valeur de C$\mathrm{R}m$ est 50, pour l'octave elle sera 100, puisque m est proportionnel à la hauteur. Comme on trouve $\mathrm{K}^2 = 10^{-6},9025$ pour $\mathrm{CR}m = 50$, et $\mathrm{K}^2 = 10^{-6},289$ pour $\mathrm{CR}m = 100$, on voit que l'octave sera affaiblie $\frac{9025}{289} = 31$ fois plus que le son fondamental; ce qui

changera complètement le timbre du son composé. D'une manière générale, pour des valeurs assez grandes de CRm, on n'entendra que les sons les plus graves, si toutefois on les entend encore. D'ailleurs s'il se produit près du transmetteur d'autres bruits beaucoup plus faibles, mais en même temps plus graves que ceux de la voix, la valeur de CRm qui leur correspond étant plus petite, ces bruits seront bien moins affaiblis que la voix et pourront même couvrir complètement celle-ci dans le récepteur. Ajoutons à cela les crépitements ou la *friture* que produisent toujours dans le récepteur les courants de terre lorsque la ligne n'a pas de fil de retour, et qui paraissent d'autant plus intenses que la voix est elle-même plus affaiblie, et l'on sera porté à croire que la transmission téléphonique est forcément limitée, malgré une puissance excessive des appareils, à une distance déterminée par la condition que (CRm) ou $(\gamma\rho l^2 m)$ ne doit pas dépasser un certain maximum a. Pour fixer ce maximum a, il serait nécessaire de posséder de nombreuses données pratiques, ces données étant variables suivant les expérimentateurs à cause des différences de conformation de l'oreille. Si l'on admettait, par exemple, pour a la valeur 50 et pour m la valeur 2000, on trouverait la condition : $\gamma\rho l^2 \leqq 0,025$ ou bien, en exprimant les résistances en ohms et les capacités en microfarads :

$$\gamma\rho l^2 \geqq 25.000 \text{ (*)}.$$

(*) En adoptant ces chiffres, s'il s'agit d'une ligne souterraine pour laquelle $\rho = 5$ ohms et $\gamma = 0^{mf},2$ par kilomètre, on trouve comme distance limite $l = \sqrt{\dfrac{25.000}{5 \times 0,2}} = 158$ kilomètres. Pour une ligne aérienne dont la capacité γ serait $0^{mf},005$ et dont la résistance ρ aurait été réduite à 4 ohms par kilomètre, on trouverait $l = \sqrt{\dfrac{25.000}{4 \times 0.005}} = 1.118$ kilomètres.

Cette condition montre la nécessité absolue de donner à γ et à ρ leur valeur minimum pour la correspondance à grande distance. Ainsi on devra exclure l'emploi des lignes souterraines, comme nous avons déjà eu l'occasion de le remarquer, et se servir de fils posés le plus haut possible au-dessus du sol. En second lieu, il sera nécessaire de remplacer le fer par un métal de conductibilité plus grande, tel que le bronze silicieux, et de lui donner la plus grande section possible. Il est à remarquer, en outre, qu'une voix grave sera bien moins affaiblie qu'une voix aiguë et par conséquent sera plus avantageuse au point de vue téléphonique; cela résulte de ce que la valeur correspondante moyenne de m est plus faible.

Modification des conclusions précédentes en pratique. — Nous avons admis, pour la commodité des calculs, des simplifications qui pourraient donner en apparence aux conclusions précédentes un caractère douteux. Mais toutes ces simplifications ayant eu pour effet de remplacer les conditions de la téléphonie pratique par des conditions plus avantageuses, les conclusions en question ne sauraient être modifiées que dans un sens plus défavorable encore. Nous allons montrer d'ailleurs comment pourraient se faire les calculs dans le cas réel et plus compliqué de la pratique.

1° Ainsi nous avons négligé les pertes le long de la ligne. Pour en tenir compte, si par exemple la perte est uniforme et que la résistance totale d'isolement de la ligne soit égale à R_1, en posant $\frac{R}{R_1} = h$, on devra remplacer l'équation aux différences partielles :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR \frac{\partial V}{\partial t},$$

par

$$\frac{\delta^2 V}{\delta x^2} = CR\,\frac{\delta V}{\delta t} + hV.$$

On résoudra cette équation de même que nous avons résolu la première, en posant :

$$V = -E(A \sin mt + B \cos mt),$$

Les conditions limites sont toujours les mêmes, savoir que $V = E \sin mt$ pour $x = 0$, et $V = 0$ pour $x = 1$. On trouvera ainsi pour φ_0, ψ_0, φ, ψ, K_0 et K les formules suivantes qui diffèrent peu de celles que nous avons données plus haut :

$$\varphi_0 = \frac{\alpha(e^{2\alpha} - c^{-2\alpha}) + 2\beta \sin 2\beta}{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\beta}.$$

$$\psi_0 = \frac{\beta(e^{2\alpha} - e^{-2\alpha}) - 2\alpha \sin 2\beta}{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\beta}.$$

$$\varphi = 2\,\frac{e^{\alpha}(\alpha \cos\beta + \beta \sin\beta) - e^{-\alpha}(\alpha \cos\beta - \beta \sin\beta)}{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\beta}.$$

$$\psi = 2\,\frac{e^{\alpha}(\beta \cos\beta - \alpha \sin\beta) - e^{-\alpha}(\beta \cos\beta + \alpha \sin\beta)}{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\beta}.$$

$$K_0 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}\,\frac{\sqrt{e^{4\alpha} + e^{-4\alpha} - 2\cos 4\beta}}{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\beta}.$$

$$K = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}\,\frac{2}{\sqrt{e^{2\alpha} + e^{-2\alpha} - 2\cos 2\beta}}.$$

α et β sont deux quantités liées à h et à CRm par les formules :

$$\alpha = \sqrt{\frac{h + \sqrt{h^2 + (CRm)^2}}{2}},$$

$$\beta = \sqrt{\frac{-h + \sqrt{h^2 + (CRm)^2}}{2}}.$$

Les formules de K_0 et de K montrent que, plus h est grand, c'est-à-dire plus les pertes sont considérables,

plus la réception sera facile près du transmetteur et difficile à l'autre bout de la ligne. L'effet des pertes est donc nuisible et vient s'ajouter à celui de la capacité.

Si l'on veut se rendre compte de cet effet sur une très longue ligne, on remarquera que, $e^{-2\alpha}$ et $\cos 2\beta$ étant dans ce cas négligeables devant $e^{2\alpha}$, la formule de K se réduit à :

$$K = 2\sqrt{\alpha^2+\beta^2}e^{-\alpha}.$$

Lorsqu'on négligeait les pertes, c'est-à-dire pour $h=0$, on avait : $K = \sqrt{CRm}\,e^{-\sqrt{\frac{CRm}{2}}}$. Si nous posons ici :

$$\alpha = \sqrt{\frac{CRm}{2}}\sqrt{\left(\frac{h}{CRm}\right)+\sqrt{1+\left(\frac{h}{CRm}\right)^2}} = k'\sqrt{\frac{CRm}{2}},$$

$$\beta = \sqrt{\frac{CRm}{2}}\sqrt{-\left(\frac{h}{CRm}\right)+\sqrt{1+\left(\frac{h}{CRm}\right)^2}} = k''\sqrt{\frac{CRm}{2}},$$

on voit que dans l'expression de K le facteur $\sqrt{\alpha^2+\beta^2}$, par le fait des pertes, est multiplié par $\sqrt{k'^2+k''^2}$; mais l'exposant négatif de l'exponentielle est multiplié par k', ce qui diminue la valeur de K.

Si ρ_1 est la résistance d'isolement, et γ la capacité par unité de longueur, on aura : $\frac{h}{CRm} = \frac{1}{\gamma\rho_1 m}$. Cette valeur et par suite celle de k' ne dépendent pas de la longueur de la ligne. Soit, comme exemple, une ligne aérienne pour laquelle $\gamma = 0^{mf},005$ et $\rho_1 = 2$ meghoms par kilomètre ; et prenons $m = 2000$. On aura

$$k' = 1,025 \quad \text{et} \quad k'' = 0,975,$$

d'où sensiblement

$$K = \sqrt{CRm}\,e^{-1,025\sqrt{\frac{CRm}{2}}}.$$

Les pertes auront donc dans ce cas une influence assez

faible, et il en sera le plus souvent de même, puisque la ligne que nous venons de prendre comme exemple a tout à la fois une faible capacité et un faible isolement et donne par conséquent une valeur de k' qui ne sera pas dépassée en général.

2° En second lieu nous avons traité le cas d'un son simple de hauteur et d'intensité constantes. S'il s'agit d'un son composé de plusieurs autres d'intensités constantes, dont les hauteurs sont $\frac{m}{2\pi}, \frac{m'}{2\pi}, \ldots$ ces divers sons donnent lieu à des forces électromotrices E, E',... et par suite à des courants d'intensités i, i',... ; l'intensité totale du courant dans le récepteur sera la somme $i + i' + \ldots$ Le problème est donc facile à traiter pour un son quelconque d'intensité constante. Mais il devient beaucoup plus compliqué s'il s'agit d'un son d'intensité variable. Toutefois il sera possible de le mettre en équation s'il est posé d'une manière déterminée. Nous ne nous y arrêterons pas ici.

III. INFLUENCE DE LA SELF-INDUCTION DES APPAREILS SUR LA TRANSMISSION TÉLÉPHONIQUE.

Nous avons vu que, quel que soit le dispositif employé, l'émission des ondes sonores devant le transmetteur donne toujours naissance à une force électromotrice de la forme ($E \sin mt$), qui produit le courant téléphonique. On a, suivant les cas :

$E = mq$ (transmetteur magnétique),

$E = e\frac{\rho}{R}$ (microphone simple),

$E = e\frac{\rho}{R}\frac{R_0 R_1}{(R_0 + r)^2}$ (id. en dérivation),

$E = e\frac{\rho}{R'}\frac{Mm}{\sqrt{R'^2 + L'^2 m^2}}$ (id. avec bobine d'induction),

et l'intensité du courant dans le récepteur est toujours donnée par la formule :

$$i = \mathrm{K}\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}}\sin m(t - \theta),$$

si l'on néglige la self-induction. Voyons comment celle-ci modifie les calculs.

1° Considérons d'abord le cas très simple où la capacité C du circuit est assez faible pour que l'on puisse considérer l'intensité du courant comme étant la même en tous les points. C'est en somme le cas des lignes des réseaux téléphoniques urbains. Soit R la résistance du circuit, L le coefficient de self-induction des appareils placés dans chaque poste. On aura :

$$\mathrm{E}\sin mt - \mathrm{R}i - 2\mathrm{L}\frac{di}{dt} = 0.$$

On tire de là :

$$i = \frac{\mathrm{E}}{\sqrt{\mathrm{R}^2 + (2\mathrm{L}m)^2}}\sin m(t - \theta),$$

en posant : $\mathrm{tg}\, m\theta = \frac{2\mathrm{L}m}{\mathrm{R}}$; θ désigne la différence de phase ou le retard du courant sur la force électromotrice, et présente ici peu d'importance. On voit que l'effet de la self-induction est d'augmenter la résistance apparente du circuit en la multipliant par $\sqrt{1 + \left(\frac{2\mathrm{L}m}{\mathrm{R}}\right)^2}$.

Si, par exemple, il s'agit d'un transmetteur magnétique de coefficient $\mathrm{L} = 0{,}5$, en prenant $m = 2000$ on a $2\mathrm{L}m = 200$. Si en outre la résistance R est elle-même de 200 ohms, on voit qu'elle se trouve multipliée, par le fait de la self-induction, par $\sqrt{2} = 1{,}4$. Un électro-aimant de coefficient 5, intercalé dans le circuit, aurait

pour effet de lui donner une résistance apparente égale à $\sqrt{R^2 + [(2L + 5)m]^2}$, soit sensiblement 10.000 ohms au lieu de 200. Ceci montre combien il est nécessaire d'éviter d'augmenter la self-induction du circuit lorsque cette augmentation n'est pas liée à une amélioration de la transmission.

Dans le cas du microphone avec la bobine d'induction, L représente la somme des coefficients de self-induction du circuit secondaire de la bobine et du ou des récepteurs appartenant au même poste. Mais alors, ainsi qu'on l'a vu, L doit être remplacé par $\lambda = L - L' \frac{M^2m^2}{R'^2 + L'^2m^2}$ à cause de la réaction des circuits primaire et secondaire l'un sur l'autre. En outre il faut tenir compte de ce que la résistance apparente de la ligne est augmentée, à chaque bout, de $r = R' \frac{M^2m^2}{R'^2 + L'^2m^2}$. On aura donc :

$$i = \frac{E}{\sqrt{(R + 2r)^2 + (2\lambda m)^2}} \sin m(t - \theta),$$

2° Considérons maintenant le cas général d'une ligne de capacité quelconque. Au poste transmetteur on a une force électromotrice $E \sin mt$ engendrée par les vibrations de la plaque, plus la force électromotrice induite $\left(-L \frac{di_0}{dt}\right)$, soit une force électromotrice totale

$$\varepsilon_0 = E \sin mt - L \frac{di_0}{dt}.$$

Au poste récepteur on aura la force induite $\varepsilon = -L \frac{di}{dt}$ en supposant que les deux postes soient montés de la même manière et que L soit le même.

D'après ce qui a été dit plus haut (formules I et I_0), la force ε_0 donnerait, à elle seule, au poste récepteur, une intensité égale à :

$$\frac{1}{R}\left(\varphi\varepsilon_0 + \frac{\psi}{m}\frac{d\varepsilon_0}{dt}\right),$$

et au poste transmetteur :

$$\frac{1}{R}\left(\varphi_0\varepsilon_0 + \frac{\psi_0}{m}\frac{d\varepsilon_0}{dt}\right).$$

De même la force ε développée au récepteur donnerait dans cet appareil une intensité égale à :

$$\frac{1}{R}\left(\varphi_0\varepsilon + \frac{\psi_0}{m}\frac{d\varepsilon}{dt}\right),$$

et au poste transmetteur :

$$\frac{1}{R}\left(\varphi\varepsilon + \frac{\psi}{m}\frac{d\varepsilon}{dt}\right).$$

Les effets de ces deux forces s'ajoutant, on aura :

$$Ri = \varphi\varepsilon_0 + \frac{\psi}{m}\frac{d\varepsilon_0}{dt} + \varphi_0\varepsilon + \frac{\psi_0}{m}\frac{d\varepsilon}{dt},$$

$$Ri_0 = \varphi_0\varepsilon_0 + \frac{\psi_0}{m}\frac{d\varepsilon_0}{dt} + \varphi\varepsilon + \frac{\psi}{m}\frac{d\varepsilon}{dt},$$

Remplaçons ε par $\left(-L\frac{di}{dt}\right)$ et ε_0 par $\left(E\sin mt - L\frac{di_0}{dt}\right)$, en remarquant que $\frac{d^2i}{dt^2} = -m^2i$ et $\frac{d^2i_0}{dt^2} = -m^2i_0$. Il vient :

$$L\varphi_0\frac{di}{dt} + (R - Lm\psi_0)i + L\varphi\frac{di_0}{dt} - Lm\psi i_0$$
$$= E(\varphi\sin mt + \psi\cos mt),$$

$$L\varphi\frac{di}{dt} - Lm\psi i + L\varphi_0\frac{di_0}{dt} + (R - Lm\psi_0)i_0$$
$$= E(\varphi_0\sin mt + \psi_0\cos mt).$$

La différentiation de ces deux équations donne :

$$(R - Lm\psi_0)\frac{di}{dt} - Lm^2\varphi_0 i - Lm\psi\frac{di_0}{dt} - Lm^2\varphi i_0$$
$$= Em(-\psi \sin mt + \varphi \cos mt),$$
$$-Lm\psi\frac{di}{dt} - Lm^2\varphi i + (R - Lm\psi_0)\frac{di_0}{dt} - Lm^2\varphi_0 i_0$$
$$= Em(-\psi_0 \sin mt + \varphi_0 \cos mt).$$

Pour éliminer i_0 et $\frac{di_0}{dt}$ entre ces quatre équations, on multipliera la première par $(R - Lm\psi_0)$, la seconde par $Lm\psi$, la troisième par $L\varphi_0$, la quatrième par $(-L\varphi)$, et on les ajoutera membre à membre. On trouve ainsi :

$$i = \frac{ER\sqrt{\varphi^2+\psi^2}\sin m(t-\theta)}{\sqrt{[(R-Lm\psi_0)^2+(Lm\varphi_0)^2+L^2m^2(\varphi^2+\psi^2)]^2-4L^2m^2[\psi(R-Lm\psi_0)-\varphi(Lm\varphi_0)]^2}},$$

En opérant d'une manière semblable pour i_0, on aura :

$$i_0 = \frac{E\sin m(t-\theta_0)\sqrt{\begin{array}{r}[(R-Lm\psi_0)^2+(Lm\varphi_0)^2](\varphi_0^2+\psi_0^2)+L^2m^2[(\varphi^2+\psi^2)^2+2(\varphi_0\psi-\varphi\psi_0)^2-2(\varphi\varphi_0+\psi\psi_0)^2]\\ +2LmR[\varphi(\varphi_0\psi-\varphi\psi_0)+\psi(\varphi\varphi_0+\psi\psi_0)]\end{array}}}{\sqrt{[(R-Lm\psi_0)^2+(Lm\varphi_0)^2+L^2m^2(\varphi^2+\psi^2)]^2-4L^2m^2[\psi(R-Lm\psi_0)-\varphi(Lm\varphi_0)]^2}}.$$

Ces formules permettront de calculer i et i_0 en fonction de R, L et m, que l'on mesurera par les méthodes connues; de φ, ψ, φ_0 et ψ_0 que l'on trouvera dans la table donnée plus haut; enfin de E, dont la valeur dépend du dispositif employé et est donnée par l'une des formules établies précédemment. S'il se trouvait en outre des condensateurs embrochés sur la ligne, on en tiendrait compte en remplaçant, comme nous l'avons vu, L par $\left(L - \frac{1}{cm^2}\right)$.

La formule de i_0, qui est très compliquée, offre peu d'intérêt en général. Mais il est deux cas particuliers

intéressants. Premièrement, si la ligne est assez courte, les valeurs de ψ et de ψ_0 sont sensiblement nulles, et celles de φ et de φ_0 égales à 1 ; on retrouve alors la formule connue :

$$i = i_0 = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (2Lm)^2}} \sin m(t - \theta).$$

Si au contraire la ligne est très longue, les valeurs de φ et de ψ sont négligeables devant celles de φ_0 et de ψ_0, et les formules de i et de i_0 se réduisent à :

$$i = \sqrt{\varphi^2 + \psi^2} \frac{RE \sin m(t - \theta)}{(R - Lm\psi_0)^2 + (Lm\varphi_0)^2},$$

$$i_0 = \sqrt{\varphi_0^2 + \psi_0^2} \frac{E \sin m(t - \theta_0)}{\sqrt{(R - Lm\psi_0)^2 + (Lm\psi_0)^2}}.$$

On voit encore ici que l'effet de la self-induction est de modifier la résistance apparente de la ligne.

A la rigueur, on devrait encore faire subir aux valeurs de φ, ψ, φ_0, ψ_0 une correction provenant de ce que la capacité C de la ligne n'est pas répartie d'une manière continue et uniforme tout le long du circuit, puisqu'aux extrémités de celui-ci se trouvent les appareils, dont la résistance r n'est pas négligeable et dont la capacité électrostatique est sensiblement nulle. On peut négliger la résistance r, mais à la condition de la remplacer par une force électromotrice $(-i_0 r)$ près du transmetteur, et $(-ir)$ à l'autre bout de la ligne. Les calculs précédents se trouveront ainsi modifiés, et l'on devra écrire :

$$\varepsilon_0 = E \sin mt - L\frac{di_0}{dt} - ri_0,$$

$$\varepsilon = -L\frac{di}{dt} - ri.$$

La formule de i sera exactement la même que celle que ous venons de trouver plus haut, sauf que l'on doit y

remplacer $Lm\varphi$ par $(Lm\varphi + \psi r)$, $Lm\varphi_0$ par $(Lm\varphi_0 + \psi_0 r)$, $Lm\psi$ par $(Lm\psi - \varphi r)$ et $Lm\psi_0$ par $(Lm\psi_0 - \varphi_0 r)$. En particulier pour une ligne assez courte on trouve, comme on devait s'y attendre :

$$i = \frac{E}{\sqrt{(R + 2r)^2 + (2Lm)^2}} \sin m(t - \theta).$$

Pour une ligne très longue, au contraire, on peut adopter comme très exacte la formule :

$$i = \sqrt{\varphi^2 + \psi^2} \frac{RE}{(R + \varphi_0 r - Lm\psi_0)^2 + (\psi_0 r + Lm\varphi_0)^2} \sin m(t - \theta),$$

R représentant seulement la résistance de la ligne proprement dite.

Supposons, par exemple, que les appareils aient, à chaque bout de la ligne, une résistance $r = 400$ ohms et un coefficient $L = 0{,}50$; que la ligne proprement dite ait une longueur de 700 kilomètres, sa capacité et sa résistance par kilomètre étant 10 ohms et $0^{mf},005$; enfin que l'on prenne $m = 2000$. On aura :

$$R = 7.000, \quad CRm = 49 \text{ (que nous remplacerons par 50)},$$

et par suite :

$$\varphi_0 = \psi_0 = 5, \quad \sqrt{\varphi^2 + \psi^2} = 0{,}095;$$

d'où :

$$i = \frac{E}{97.746} \sin m(t - \theta),$$

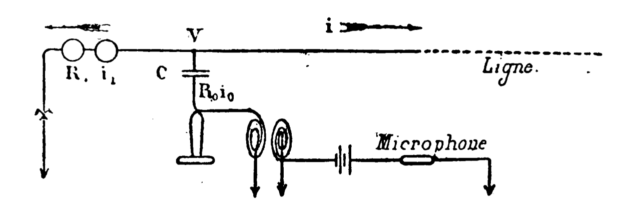
soit environ :

$$i = \frac{E}{100.000} \sin m(t - \theta).$$

IV.

Transmissions télégraphique et téléphonique simultanées par un même fil. — On se contente quelquefois,

pour cela, d'embrocher les appareils téléphoniques sur la ligne télégraphique ; le calcul de l'intensité du courant dans le récepteur se fait alors comme nous venons de l'exposer. Dans d'autres systèmes, celui de M. Van Rysselberghe, par exemple, les appareils sont placés en dérivation sur la ligne, et la dérivation est coupée par un condensateur, comme le montre la figure ci-contre. Voyons ce qui se passe dans ce cas.



Soient : $E \sin mt$ la force électromotrice engendrée par le transmetteur, force que l'on calcule comme il a été dit plus haut ; L le coefficient de self-induction et R_0 la résistance de la dérivation où se trouvent les appareils, i_0 l'intensité du courant dans cette dérivation et c la capacité du condensateur.

Soient, d'autre part, R_1 la résistance et L_1 le coefficient de self-induction du récepteur télégraphique ; i_1 l'intensité du courant dans ce récepteur ; enfin V le potentiel au point de bifurcation, et i l'intensité sur la ligne à partir de ce point.

Le condensateur agissant comme une bobine de coefficient $\left(-\frac{1}{cm^2}\right)$, on aura : pour la branche du téléphone, en posant : $L - \frac{1}{cm^2} = L_0$:

$$E \sin mt - L_0 \frac{di_0}{dt} - R_0 i_0 - V = 0,$$

et pour la branche du récepteur télégraphique :

$$V - L_1 \frac{di_1}{dt} - R_1 i_1 = 0.$$

D'ailleurs :

$$i_0 - i_1 = i.$$

En différentiant ces deux dernières relations et remplaçant $\frac{d^2 i_1}{dt^2}$ par $(-m^2 i_1)$, on aura en tout cinq équations entre lesquelles on éliminera i_0, i_1, $\frac{di_0}{dt}$ et $\frac{di_1}{dt}$. Il en résultera :

$$(R_1^2 + L_1^2 m^2 + R_0 R_1 + L_0 L_1 m^2)V + (R_1 L_0 - R_0 L_1) \frac{dV}{dt}$$
$$= (R_1^2 + L_1^2 m^2)\left(E \sin mt - L_0 \frac{di}{dt} - R_0 i\right).$$

On différentiera encore cette équation en remplaçant $\frac{d^2 V}{dt^2}$ par $(-m^2 V)$ et $\frac{d^2 i}{dt^2}$ par $(-m^2 i)$, et l'on aura une relation qui, avec la précédente, permettra d'éliminer $\frac{dV}{dt}$ et de calculer V. On trouve ainsi :

$$V = \varepsilon - \lambda \frac{di}{dt} - \rho i,$$

les expressions de ε, λ, ρ étant :

$$\varepsilon = E \sqrt{\frac{R_1^2 + L_1^2 m^2}{(R_0 + R_1)^2 + (L_0 + L_1)^2 m^2}} \sin m(t - \theta),$$
$$\lambda = \frac{L_0(R_1^2 + L_1^2 m^2) + L_1(R_0^2 + L_0^2 m^2)}{(R_0 + R_1)^2 + (L_0 + L_1)^2 m^2},$$
$$\rho = \frac{R_0(R_1^2 + L_1^2 m^2) + R_1(R_0^2 + L_0^2 m^2)}{(R_0 + R_1)^2 + (L_0 + L_1)^2 m^2}.$$

Cette formule montre que tout se passe comme si l'on remplaçait l'ensemble du récepteur télégraphique et de la dérivation télégraphique par une seule branche de

résistance ρ, dont le coefficient de self-induction serait λ, et sur laquelle se trouverait une force électromotrice ε. Le problème en question est donc susceptible d'une solution numérique, quoique un peu compliquée, et la discussion des formules de λ, ρ et surtout de ε permettra de se rendre compte de la valeur du dispositif. On voit en particulier que la self-induction des bobines de l'appareil télégraphique est très favorable, car elle réduit beaucoup la perte du courant téléphonique par cet appareil.

Mais ces bobines ont, avant tout, un autre but, qui est d'empêcher les transmissions télégraphiques faites par le même fil de troubler les communications téléphoniques. En effet, comme il résulte d'un calcul très simple et bien connu, la self-induction d'un circuit produit un ralentissement dans l'établissement du courant. Si ce ralentissement est assez considérable, le courant télégraphique, qui aurait produit sans cela dans le récepteur téléphonique voisin un choc brusque et un bruit appréciable, n'y produira plus cet effet nuisible, qui disparaîtra même complètement, pourvu que la self-induction soit assez grande. Toutefois, comme d'un autre côté cette induction est nuisible à la transmission télégraphique, on n'a pas intérêt à l'augmenter outre mesure. La pratique indique le moyen terme à adopter.

Le courant télégraphique, qui n'a plus d'action sur un récepteur téléphonique intercalé dans le même circuit, n'en aura pas, à plus forte raison, sur un téléphone intercalé dans un circuit voisin. Par suite de cette seule disposition, l'influence des courants télégraphiques, soit directe, soit par induction, se trouve supprimée sur tous les fils.

Induction des transmissions téléphoniques sur les fils voisins. — Si l'on a deux lignes voisines assez courtes pour que l'on puisse négliger l'influence de leur capacité électrostatique, les intensités des courants téléphoniques sur ces lignes seront données par les formules :

$$i = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (2Lm)^2}} \sin m(t - \theta),$$

$$i' = \frac{E'}{\sqrt{R'^2 + (2L'm)^2}} \sin m(t - \theta').$$

Si μ est le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits, le courant i' induira sur la première ligne une force $\mu \frac{di'}{dt} = \frac{\mu m E'}{\sqrt{R'^2 + (2L'm)^2}} \cos m(t - \theta')$. Le rapport de cette force induite nuisible à la force E utile est donc :

$$\frac{\mu m}{\sqrt{R'^2 + (2L'm)^2}} \frac{E'}{E}.$$

Son carré, c'est-à-dire : $\frac{\mu^2 m^2}{R'^2 + (2L'm)^2} \left(\frac{E'}{E}\right)^2$, étant le rapport de l'intensité du son transmis par induction à celle du son transmis directement, représente l'effet nuisible de l'induction téléphonique. Il est proportionnel au carré de m et de $\frac{E'}{E}$, dont les valeurs sont connues ; inversement proportionnel au carré $[R'^2 + (2L'm)^2]$ de la résistance apparente du circuit inducteur, que l'on sait calculer ; enfin proportionnel au carré du coefficient μ d'induction mutuelle des deux fils. Celui-ci peut se mesurer par les procédés connus ou bien se calculer par la formule de Neumann :

$$\mu = \iint \frac{ds\,ds'}{r} \cos \varepsilon.$$

Si les deux fils sont parallèles et à une distance δ sur une longueur l, la formule donne sensiblement :

$$\mu = 2l \log\left(\frac{2l}{\delta}\right),$$

log indiquant un logarithme népérien, et la valeur de μ devant être exprimée en prenant pour unité de longueur 10^9 centimètres. Il résulte de cette formule que si une ligne est constituée par un fil d'aller et un fil de retour, une ligne voisine équidistante de ces deux fils exercera sur eux des inductions égales qui se détruiront. On obtient ce résultat pour les réseaux téléphoniques souterrains en enroulant les deux fils d'une ligne l'un autour de l'autre, de manière que la distance moyenne de ces deux fils à une autre ligne soit la même.

Sur une ligne aérienne on ne peut employer le même procédé d'une manière aussi efficace; mais on pourra encore arriver à diminuer considérablement l'induction si elle devient par trop gênante. D'ailleurs, sans recourir au procédé compliqué de la pose des fils en spirale sur les poteaux, il suffira souvent d'un fil d'aller et d'un fil de retour rectilignes convenablement choisis. Si ces deux fils sont à des distances δ et δ' d'une autre ligne, les coefficients d'induction de celle-ci sur chacun d'eux sont :

$$\mu = 2l \log\left(\frac{2l}{\delta}\right),$$
$$\mu' = 2l \log\left(\frac{2l}{\delta'}\right).$$

L'induction totale de la seconde ligne sur la première sera représentée par $(\mu - \mu')$. Elle aura donc été réduite, par l'emploi du fil de retour, dans le rap-

port :

$$\frac{\mu - \mu'}{\mu} = \frac{\log\left(\frac{\delta'}{\delta}\right)}{\log\left(\frac{2l}{\delta}\right)}.$$

si par exemple on a : $l = 20$ kilomètres, $\delta = 1$ mètre, $\delta' = 1^m,50$, on trouve :

$$\frac{\mu - \mu'}{\mu} = \frac{\log 1,5}{\log 40.000} = 0,038.$$

Ce résultat est conforme à l'expérience (*), au moins comme indication générale, sinon numériquement, puisque l'on n'a pas fait des mesures précises à ce sujet. La formule de μ montre encore que si l'on veut faire usage de lignes à fil simple, on diminuera peu l'induction mutuelle des divers fils lors même qu'on portera leur distance de 1 mètre à 5 mètres par exemple.

Nous avons supposé les deux lignes voisines assez courtes pour que l'on puisse négliger l'influence de leur capacité. S'il n'en est pas ainsi on pourra calculer de la manière suivante le courant inducteur dans le récepteur. Soit μ_h le coefficient d'induction de la seconde ligne sur une section A_h assez courte de la première, et i'_h le courant sur la partie de la seconde ligne voisine de A_h. La force électromotrice induite sur A_h est $\mu_h \frac{di'_h}{dt} = \varepsilon_h$, et le courant induit qu'elle donne dans le récepteur est de la forme :

$$i_h = \frac{1}{R}\left(\varphi_h \varepsilon_h + \frac{\psi_h}{m}\frac{d\varepsilon_h}{dt}\right).$$

(*) M. Nyström a été conduit à des conclusions semblables par une expérience faite récemment sur une ligne télégraphique reliant Malmo et Lund (Scanie).

Il suffira donc de calculer i'_h, c'est-à-dire le courant téléphonique qui traverse la seconde ligne dans la voisinage de A_h, puis φ_h et ψ_h. On calculera ces diverses quantités en partant de l'équation :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR \frac{\partial V}{\partial t}.$$

Ensuite, ayant l'expression de i_h pour la section A_h, on calculera les valeurs semblables correspondant aux autres sections induites, et on n'aura qu'à faire leur somme pour avoir le courant induit total. Nous ne développerons pas ces calculs; mais nous examinerons particulièrement le cas de deux lignes voisines vers leurs extrémités.

Soit $i_0' = I_0' \sin m(t - \theta_0')$ l'intensité du courant sur le second circuit. Ce courant induit sur le premier circuit la force électromotrice $\mu \frac{di_0'}{dt} = \mu m I_0' \cos m(t - \theta_0')$, qui agit directement sur le récepteur, tandis que la force e développée par le transmetteur sur la ligne est à l'autre extrémité. Le rapport du courant induit par le fil voisin au courant direct venant de la ligne est donc $\frac{\mu m I_0'}{e} \times \frac{I_0}{I}$, I_0 et I représentant les intensités du courant développé dans le récepteur par une force électromotrice suivant qu'elle est près de lui ou à l'autre extrémité. Les formules que nous avons établies plus haut font connaître le rapport $\frac{I_0}{I}$. Si l'on connaît également μ, I_0' E et m, on pourra se rendre compte de l'effet nuisible de l'induction et le calculer même. On voit qu'il est d'autant plus grand, toutes choses égales d'ailleurs. que le rapport $\frac{I_0}{I}$ est plus grand lui-même, c'est-à-dire

que la ligne est plus longue. C'est donc là encore un des inconvénients que l'on rencontre dans la téléphonie à grande distance.

Courants de terre. — Lorsque la ligne n'a pas de fil de retour, on entend généralement dans le téléphone un bruit particulier, une sorte de crépitements provenant des courants de terre et qui sont plus ou moins intenses suivant la position des points où l'on a pris la terre aux extrémités. Lorsque le bruit est trop gênant, comme cela a lieu notamment si la terre est prise dans un grand poste télégraphique, on choisit une autre terre où l'on prend un fil de retour.

Mais les courants en question ne proviennent pas seulement de la variation continuelle de potentiel des deux terres, comme il semble au premier abord. Si en effet le potentiel de la terre vient à varier près d'une section quelconque A de la ligne, de capacité c, cette variation agit sur la ligne comme une force électromotrice à travers un condensateur de capacité c et actionne par conséquent les récepteurs téléphoniques. En outre, l'électricité atmosphérique peut donner des courants continuels sensibles au téléphone. Ces causes secondaires de trouble échappent à l'analyse. On voit que l'on ne peut y soustraire rigoureusement une ligne qu'à l'aide d'un fil d'aller et d'un fil de retour suivant exactement le même chemin.

Nous avons cherché dans cette note à tenir compte, autant que possible, des divers éléments qui peuvent influer sur les transmissions téléphoniques : résistance, capacité, hauteur du son, induction, etc. Cette analyse n'est exacte, sans doute, qu'à la condition que l'introduction de nouveaux éléments importants ne devienne

pas nécessaire ; aussi ne prétendons-nous nullement la donner comme définitive. Nous voulions simplement montrer comment on peut soumettre au calcul les problèmes divers que soulèvent les applications pratiques de la téléphonie.

VASCHY.

DÉTERMINATION DE L'OHM.

ÉTUDE DE LA MÉTHODE DE L'AMORTISSEMENT DES AIMANTS.

Par **M. J. B. BAILLE.**

Suite (*).

Deuxième Partie.

MESURES DÉFINITIVES

Bien que je ne fusse pas en mesure, n'ayant ni l'outillage ni les éléments nécessaires pour obtenir une bonne valeur de l'ohm, j'ai voulu cependant terminer cette étude de la méthode de l'amortissement, par la mesure définitive de la résistance de la bobine qui m'avait servi jusqu'ici.

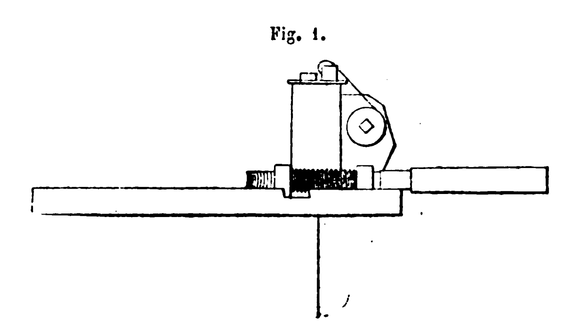
Conduite des observations.

L'aimant oscillant était placé au centre de la bobine. Avec l'aimant étaient suspendus un étrier, un miroir, et une tige triangulaire sur laquelle se déplaçaient des poids en plomb, pour la recherche des moments d'inertie (*fig.* 1 et 2). Cette suspension était lourde (poids maximum, 870 grammes). Aussi le fil qui le supportait était-il un fil de laiton recuit assez épais. Le tout avait

(*) Voir la livraison de mars-avril 1884.

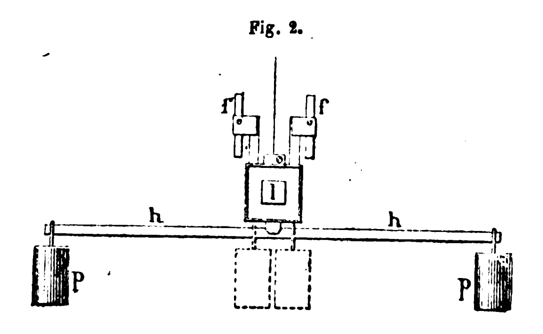
été choisi, comme je l'ai indiqué précédemment de façon à ce que le fil eut un couple de torsion à peu près égal au couple directeur des aimants.

Fig. 1.



Le fil était attaché à sa partie supérieure par un treuil, au moyen duquel l'aimant était mis au centre de

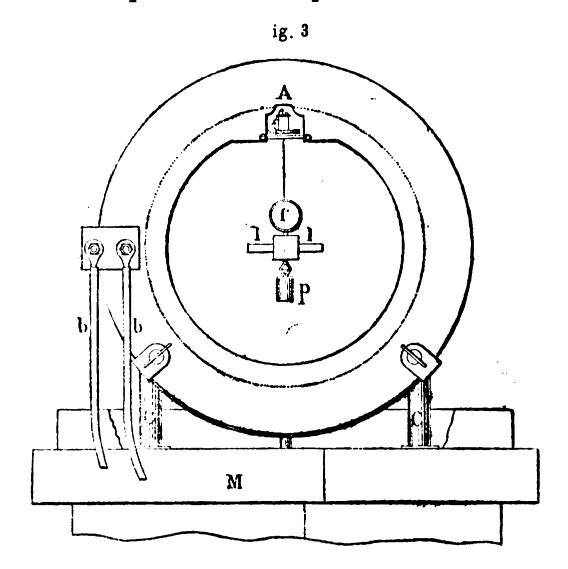
Fig. 2.



la bobine; et le treuil était fixé à un plateau muni d'une vis tangente qui servait à mettre la position d'équilibre du fil dans le méridien magnétique (*fig.* 3). Tout ce système d'attache était logé à la partie supérieure dans la bobine et formait un chariot qui glissait sur deux tringles de cuivre, pour être amené à l'avant ou être mis en place au milieu de la longueur de la bobine, contre une butée fixe. Des baguettes de bois for-

maient jambes de force et empêchaient ces tringles de fléchir sous le poids de la suspension.

ig. 3



Une grande boîte de zinc, remplie de sciure de bois et manœuvrée par un moufle en cuivre, enfermait tout l'appareil et empêchait les mouvements de l'air intérieur et les changements brusques de la température. Une glace à hauteur convenable donnait passage au rayon lumineux venant de l'échelle, réfléchi par le miroir et reçu par la lunette.

Un des aimants A étant placé dans l'étrier, on imprimait, au moyen du courant auxiliaire, une impulsion assez forte à tout le système, et quelques minutes après on commençait l'observation. Je notais d'abord l'heure du passage au réticule d'un index placé à la division du repos de l'aimant et je comptais la durée de dix oscillations. Puis l'appareil abandonné à lui-même, l'amplitude, d'abord très grande, diminuait de plus en plus

jusqu'à ce qu'elle fût entièrement contenue dans les divisions de l'échelle.

Je faisais alors l'observation des décréments logarithmiques : je lisais quatre séries indépendantes de six élongations successives, la première à circuit ouvert, — la deuxième à circuit fermé, — la troisième également, à circuit fermé, quelques minutes après la deuxième lorsque l'amplitude était devenue nettement plus petite, — et la quatrième à circuit ouvert. Ces six élongations fournissaient cinq amplitudes de plus en plus petites, et quatre valeurs de $\frac{1}{Z}$. Je prenais la moyenne de ces valeurs $\frac{1}{Z}$ dans chaque série puis la moyenne des deux séries de même nature.

Lorsqu'une perturbation s'était produite, telle qu'une brusque variation de la déclinaison, on le reconnaissait à ce que les valeurs de $\frac{1}{Z}$, loin de rester constantes, variaient très notablement. Si la perturbation était instantanée, à une grande valeur de $\frac{1}{Z}$ correspondait aussitôt une valeur plus petite ; et la progression géométrique, un instant troublée, reprenait aussitôt sa régularité. Si la perturbation se prolongeait, l'observation devait être rejetée, car rien n'indiquait à quel moment la progression géométrique devenait bien régulière. Les éléments du calcul logarithmique ainsi préparés, j'achevai la lecture de T, en comptant de nouveau la durée de dix oscillations, et cette nouvelle évaluation de la durée de dix oscillations devait concorder avec la première. Le nombre définitif T était obtenu en divisant la durée totale de l'observation par le nombre des oscillations.

Je mesurais ensuite les moments magnétiques. L'aimant B, placé dans des positions déterminées, occasionnait une déviation de l'aimant oscillant A. Je lisais trois élongations consécutives d'où je déduisais la position d'équilibre de A. Je prenais trois positions d'équilibre correspondantes à trois retournements de B, d'abord en dirigeant vers A le pôle N de l'aimant déviant, puis le pôle S, puis encore le pôle NB. On agissait ainsi afin d'éliminer les variations de la déclinaison. L'observation, comprenant neuf lectures et deux retournements, durait à peine cinq minutes, et pendant ce temps on pouvait espérer que la déclinaison variât régulièrement. Après avoir fait l'observation à l'ouest, je la refaisais à l'est.

Du reste ces variations de la déclinaison, qui dans ces observations causent des perturbations continuelles, étaient notées avec soin, et pendant l'observation de Gauss, je prenais trois fois la position réelle d'équilibre de A sous l'action seule de la terre, au début et à la fin de l'observation et avant de porter l'aimant fixe à l'est.

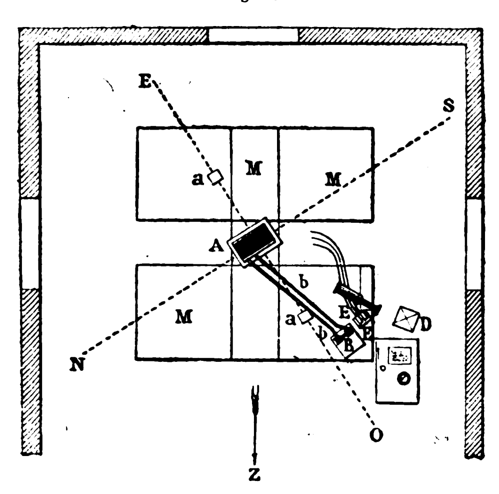
J'avais ainsi trois points de la courbe de variation de la déclinaison, séparés l'un de l'autre par un intervalle de temps de sept minutes environ ; et, si la courbe était régulière, si les positions d'équilibre déduites des déviations se trouvaient sur la courbe, l'observation était calculée et pouvait être conservée.

L'observation totale durait environ une heure et demie. Alors on enlevait A et on le remplaçait par B. On laissait l'appareil se reposer environ une heure et on recommençait la même série de manœuvres (*fig.* 4).

Dans les tableaux suivants μ désigne le moment d'inertie totale ; θ, la température moyenne centigrade

lue à un thermomètre placé près de la suspension et corrigé de l'erreur du zéro; T la durée d'une oscillation simple donnée par la durée totale du nombre d'oscilla-

Fig. 4.



tions; Z est la raison de la progression formée par les amplitudes $Z = e^{-\alpha T}$ (Le nombre qui suit chaque série de six élongations est la moyenne des quatre valeurs de $\frac{1}{Z}$ déduites de ces élongations.) Le zéro est la position d'équilibre de l'aimant suspendu, sous l'action de la terre. Cette position d'équilibre qui peut se déduire de la lecture des déviations δ, est inscrite à côté de δ. Les résultats directs du calcul sont inscrits sur les tableaux.

Observations de la 1re série. **N° 1.** (19 mar…

Aimant suspendu A.	Durée de l'oscillation.	Élongations lues. Circuit ouvert.	Élongations lues. Circuit fermé.	Positions d'équilibre sous l'act… de l'aimant fixe.
Inertie. Étrier et aimant. 5084,0 Pδ². . . . 24309,5 $\mu = 29393,5$ $\theta = 12°,9$	3h 24m 35,4 14h 15m 26,3 154 oscillations. $T = 19^s,811$	3,28 \ 59,52 42 \ 40 58 \ 27 1,002456 14,72 \ 48,38 29 81 \ 20 90 1,002687 $\frac{1}{z} = 1,00257$ $h' = 7,6062$	4,98 / 58,59 57,40 6,13 \ 56,27 7,27 1,022735 11,31 / 52,19 51,29 12,19 \ 50,41 13,08 1,022965 $\frac{1}{z} = 1,02285$ $H = 67,0434$	Zéro 31.5… B à l'O. 41.658 | 21.458 | 41.680 δ = 20.211 Zéro 31,56… Zéro 31,51… B à l'E. 21.273 | 41.740 | 21.288 δ = 20.459 Zéro 31.51… Zéro 31.59… δ = 20.335 $\frac{\tau}{B} = 0,000116754$
$\tau A + C = 739,158$ $C = 378,994$ $\tau A = 360,164$ $\frac{C}{\tau A} = 1,052282$		$h = 59,4372$		
Aimant suspendu B. Étrier et aimant. 5080,0 Pδ². . . . 24309,5 $\mu = 29389,5$ $\theta = 12°,7$	0h 37m 36,3 1h 27m 54,9 148 oscillations. $T = 20^s,396$	0,90 \ 59,36 1,03 \ 59,22 1,18 \ 59,10 1,002325 12,33 \ 48,07 12,42 \ 47,99 12,53 \ 47,89 1,002386 $\frac{1}{z} = 1,002356$ $h' = 6,7806$	2,31 / 58,52 57,52 3,33 \ 56,52 4,31 1,018620 9,41 \ 50,62 10,16 \ 49,89 10,89 \ 49,19 1,018475 $\frac{1}{z} = 1,018548$ $H = 52,9644$	Zéro 30,58… A à l'O. 41.333 | 19.835 | 41.455 δ = 21.559 Zéro 30.61… Zéro 30.70… A à l'E. 19.863 | 41.620 | 19 893 δ = 21.742 Zéro 30.749 Zéro 30.763 δ = 21.6[illegible] $\frac{\tau}{A} = 0,000102697$
$\tau B + C = 697,291$ $C = 379,174$ $\tau B = 318,117$ $\frac{C}{\tau B} = 1,19193$		$h = 46,1838$		

$A^2 = 3.507.054,7$ $\tau^2 = 0,0369878$	$A = 1872,6$ $\tau_A = 0,19233$	$B^2 = 2,724.677,5$ $\tau^2 = 0,0371414$	$B = 1.654,5$ $\tau_B = 0,19272$	$\tau = 0,1925$…
$\frac{A^2}{h} = 59.004,38$		$\frac{B^2}{h} = 58.996,38$		

bservations de la 1re série. N° 2. (23 mars.)

<table>
<tr><th>imant suspendu A.</th><th>Durée de l'oscillation.</th><th colspan="2">Elongations lues.</th><th>Positions d'équilibre sous l'action de l'aimant.</th></tr>
<tr><th></th><th></th><th>Circuit ouvert.</th><th>Circuit fermé.</th><th></th></tr>
<tr><td>Étrier et aimant.
$\mu = 5084,0$
$\theta = 7°,3$

$\tau A + C = 742,070$
$C = 379,984$
$\tau A = 362,086$
$\frac{C}{\tau A} = 1,049430$</td><td>$0^h\ 44^m\ 54,1$
$1^h\ 21^m\ 54,4$
270 oscillations
$T = 8^s,223$</td><td>2,01
56,64
2,20
56,48
2,37
56,31
1,003129
35,89
23,02
82
07
79
11
1,003723
$\frac{1}{z} = 1,003426$
$h' = 4,2238$</td><td>4,07
53,43
6,58
51,02
8,84
48,89
1,053641
20,59
37,82
21,48
36,99
22,27
36,22
1,054206
$\frac{1}{z} = 1.053924$
$H = 64,9366$</td><td>Zéro 29.730
B à l'O.
39.825 | 19.518 | 39.705
$\delta = 20,247$ Zéro 29.642
29.413 Zéro 29.475
B. à l'E.
19.118 | 39.640 | 19.100
$\delta = 20\ 531$ Zéro 29.375
Zéro 29.345
$\delta = 20.389$
$\frac{\tau}{B} = 0,000116637$</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">$h = 60,7128$</td><td></td></tr>
<tr><td>imant suspendu B.
$\mu = 5080,84$
$\theta = 7°,9$

$\tau B + C = 699,317$
$C = 379,894$
$\tau B = 319,423$
$\frac{C}{\tau B} = 1,18560$</td><td>$2^h\ 56^m\ 9^s,6$
$3^h\ 46^m\ 24^s,4$
356 oscillations.
$T = 8^s,468$</td><td>52,10
2,51
51,93
68
51,79
81
1,003100
21,07
33,69
09
67
12
63
1,002195
$\frac{1}{z} = 1,002648$
$h' = 3,1480$</td><td>4,40
49,24
6,27
47,48
7,97
45,88
1.042862
35,50
19,53
34,86
20,20
34,27
20,77
1,042894
$\frac{1}{z}$ 1,042878
$H = 50,3752$</td><td>Zéro 27.375
A à l'O.
38.123 | 16.613 | 38.195
$\delta = 21.446$ Zéro 27.386
Zéro 27,528
A à l'E.
16.663 | 38.435 | 16.703
$\delta = 21.752$ Zéro 27.559
Zéro 27.605
$\delta = 21.599$
$\frac{\tau}{A} = 0,000103243$</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">$h = 47,2272$</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>$A^2 = 3.507.124,0$
$\tau^2 = 0,0372828$</td><td>$A = 1872,7$
$\tau = 0,193346$</td><td>$B^2 = 2.747.181.4$
$\tau^2 = 0,0373718$</td><td>$B = 1657,5$
$\tau = 0,193321$</td><td rowspan="2">$\tau = 0,193334$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\frac{A^2}{h} = 57.765,81$</td><td colspan="2">$\frac{B^2}{h} = 58.169,47$</td></tr>
</table>

Observations de la 1re série. **N° 3.** (26 mars.)

<table>
<tr><th>Aimant suspendu M.</th><th>Durée de l'oscillation.</th><th colspan="2">Elongations lues.</th><th>Positions d'équilibre.</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Circuit ouvert.</td><td>Circuit fermé.</td><td></td></tr>
<tr><td>Étrier et aimant.
$\mu = 6530,5$
$\theta = 5°,1$

$\tau M + C = 774,410$
$C = 380,314$
$\tau M = 394,096$

$\frac{C}{\tau M} = 0,965029$</td><td>0h 19m 56,8
1h 15m 54,4
368 oscillations.
$T = 9^s,123$</td><td>0,52
59,80
70
63
86
49
1,002760
38,73
21,79
69
83
65
88
1,002523
$\frac{1}{z} = 1,002642$
$h' = 3,7748$</td><td>53,70
7,99
51,36
10,15
49,23
12,22
1,054200
18,42
41,44
19,60
40,32
20,68
39,31
1,054321
$\frac{1}{z} = 1,054260$
$H = 75,6474$</td><td>Zéro 30.358
N à l'O.
42.160 | 18.540 | 42.138
$\delta = 23.609$ Zéro 30.345
Zéro 30.348
N à l'E.
18.478 | 42.295 | 18.505
$\delta = 23.803$ Zéro 30.394
Zéro 30.415
$\delta = 23.706$
$\frac{\tau}{N} = 0,000105779$</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">$h = 71,8726$</td><td></td></tr>
<tr><td>Aimant suspendu N.
$\mu = 6521,2$
$\theta = 5°,4$

$\tau N + C = 732,606$
$C = 380,269$
$\tau N = 352,337$

$\frac{C}{\tau N} = 1,0792763$</td><td>3h 14m 30,5
4h 1m 42,1
302 oscillations.
$T = 9^s,373$</td><td>0,83
59,21
1,00
59,06
1,19
58,89
1,002929
21,29
38,92
33
88
38
83
1,002569
$\frac{1}{z} = 1,002749$
$h' = 3,8200$</td><td>57,34
4,03
55,07
6,28
52,92
8,30
1,045490
18,40
41,32
19,38
40,39
21,30
39,51
1,045134
$\frac{1}{z} = 1,045312$
$H = 61,6646$</td><td>Zéro 30.280
M à l'E.
17.623 | 42.870 | 17.690
$\delta = 25.213$ Zéro 30.264
Zéro 30.263
M à l'O.
42 663 | 17.840 | 42.683
$\delta = 24 833$ Zéro 30.257
Zéro 30.250
$\delta = 25.028$
$\frac{\tau}{M} = 0.0000946861$</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">$h = 57,8446$</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>$M^2 = 4.162.135,9$
$\tau^2 = 0,0373154$</td><td>$M = 2040,1$
$\tau = 0,193172$</td><td>$N^2 = 3.330.878,5$
$\tau^2 = 0,0372699$</td><td>$N = 1825,1$
$\tau = 0,193054$</td><td rowspan="2">$\tau = 0,193113$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\frac{M^2}{h} = 57.909,9$</td><td colspan="2">$\frac{N^2}{h} = 57.583,2$</td></tr>
</table>

Observations de la 1re série. N° 4. (30 mars.)

<table>
<tr><th rowspan="2">Aimant suspendu M.</th><th rowspan="2">Durée de l'oscillation.</th><th colspan="2">Élongations lues.</th><th rowspan="2">Positions d'équilibre.</th></tr>
<tr><th>Circuit ouvert.</th><th>Circuit fermé.</th></tr>
<tr><td>Étrier et aimant. 6530,5
P.S¹. . . . 24309,5
μ = 30840,0
θ = 8°,8

τM + C = 770,471
C = 379,759
τM = 390,712

$\frac{C}{\tau M}$ = 0,95628</td><td>0h 16m 12,4
0h 35m 42,6
240 oscillations.
T = 19s.876</td><td>1,12 44,10
44,02
23
43,91
37
1,002576

33,34
11,89
28
97
22
99
1,002581

$\frac{1}{z}$ = 1,002579
h' = 7,9930</td><td>43,78
1,99
42,72
2,99
41,72
3.92
1,025405

10,11
34,79
69
34,21
11,30
33,62
1,025447

$\frac{1}{z}$ = 1,025426
H = 77,9164</td><td>Zéro 22.735
N à l'O.
34.430 | 11.115 | 34.488
δ = 23.344 Zéro 22.787

Zéro 22.845
N à l'E.
11.013 | 34.673 | 11.040
δ = 23.646 Zéro 22.850

Zéro 22.923

δ = 23.495
$\frac{\tau}{N}$ = 0,000107205</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">h = 69,9234</td><td></td></tr>
<tr><td>Aimant suspendu N.
μ = 30830,7
θ = 9°,9

τN + C = 729,817
C = 379,594
τN = 350,223

$\frac{C}{\tau N}$ = 1,08450</td><td>2h 51m 29,2
3h 56m 49,6
T = 20s,419</td><td>54,57
0,51
39
66
22
81
1,003029

13,18
41,80
28
74
38
68
1,002815

$\frac{1}{z}$ = 1,002922
h' = 8,8106</td><td>54,02
1,50
52,89
2,59
51,81
3,62
1,021769

11,29
43,31
11,97
42,65
12,62
42,03
2,021484

$\frac{1}{z}$ = 1,021627
H = 64,6134</td><td>Zéro 27.675
M à l'O.
40.08 | 15.37 | 40.40
δ = 24.654 Zéro 27.697

Zéro 27.790
M à l'E.
15 368 | 40.278 | 15.345
δ = 24.921 Zéro 27.818

Zéro 27.820

δ = 24.788
$\frac{\tau}{M}$ = 0,0000953407</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">h = 55,8028</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>M² = 4.098.060,4
τ² = 0,0372500</td><td>M = 2024,4
τ = 0,193005</td><td>N = 3.266.873,8
τ² = 0,0375455</td><td>N = 1807,4
τ = 0,193767</td><td rowspan="2">τ = 0,193386</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\frac{M^2}{h}$ = 58.607,9</td><td colspan="2">$\frac{N^2}{h}$ = 58.543.1</td></tr>
</table>

Distance du miroir à l'échelle. — La distance de l'échelle divisée au miroir, porté par l'aimant, est le rayon d'un cercle sur lequel se lisent toutes les déviations. Cet élément a été mesuré avec le plus grand soin de la manière suivante :

Une solive de bois a été établie horizontalement dans la longueur du laboratoire ; sur cette solive, on a marqué d'un côté la projection du fil vertical de suspension ; de l'autre, la trace de la face divisée de l'échelle et la position de la division moyenne, 30. Puis on a tendu un fil blanchi à la craie ; et, en laissant retomber le fil soulevé, on imprimait sur la solive la droite représentant le rayon lumineux parti de la division 30.

On a alors mesuré la longueur de cette ligne droite entre les repères tracés, en portant l'échelle de verre elle-même le long de la droite, sur la solive.

Cette manœuvre a été faite deux fois, à un jour d'intervalle, et par deux personnes chaque fois. Ces quatre mesures concordaient à moins d'un millimètre. La moyenne des quatre nombres obtenus a été $625^c,17$. De ce nombre ont été retranchés d'abord le tiers de l'épaisseur de la règle divisée, la face portant les divisions étant opposée au miroir ; — puis le tiers de l'épaisseur de la glace fermant la boîte protectrice. Ces deux petites corrections ont été faites pour tenir compte de la réfraction des glaces, qui raccourcit les distances optiques. Puis on a retranché encore la distance du miroir au fil ; car, afin de conserver la plus grande longueur possible de fil de torsion, le miroir avait été placé au-dessus de l'étrier en avant du fil, et il était équilibré par une glace symétrique non réfléchissante.

En somme, la distance de l'échelle au miroir réfléchissant est $\Delta = 622^c,50$.

Toutes les mesures de petites dimensions ont été prises avec une petite règle d'ivoire, comparée soigneusement avec l'échelle, par superposition, et trouvée très sensiblement identique.

Cette distance et toutes les autres longueurs mesurées dans ce travail sont exprimées en centimètres de l'échelle, supposée rigoureusement exacte.

Distance de l'aimant fixe à l'aimant mobile. — L'aimant déviant était placé dans une caisse à double enveloppe remplie d'eau, afin d'éviter le maniement de l'aimant par les mains. Cette caisse était successivement portée par deux supports, dont les axes coïncidaient exactement avec celui de l'aimant intérieur, et qui avaient été fixés sur la table de pierre servant de sol à tous les appareils. Ces supports avaient été placés à un mètre du centre de la bobine, l'un à l'est, l'autre à l'ouest.

Une fois en place, on a mesuré la distance totale des centres des deux supports en tendant une règle de bois bien dressée, entre les deux supports ; on a marqué les positions des centres, et on a mesuré cette longueur avec l'échelle de verre elle-même.

$$2a = 200^{c},600.$$

ce qui a donné pour l'équation :

$$(\tau M + C)\delta = MM' \frac{8\Delta}{a^3}\left(1 - \frac{l^2}{a}\right) = MM' 10^{-3} \times 4,87375.$$

Le facteur 8 provient de ce que la déviation lue δ est trois fois doublée, d'abord par la réflexion, puis par le retournement de l'aimant, puis par la position équatoriale et non pas méridienne de l'aimant déviant.

Le facteur 4.87375 s'applique aux aimants A et B

($2l = 10^c,05$). Pour les autres aimants M et N ($2l = 8^c,04$), il faut prendre 4,927502.

Moments d'inertie. — Le moment d'inertie total se composait de trois parties distinctes : 1° l'aimant, prisme rectangulaire dont le moment était géométriquement connu $\left(p\,\frac{4l^2 + a^2}{12}\right)$; 2° l'étrier et ses accessoires pour lesquels le calcul eût donné des résultats seulement approchés, et dont il fallait déterminer le moment par l'observation ; 3° la quantité $P\delta^2$ formée par les poids de plomb P, supposés d'abord sur l'axe d'oscillation, puis portés à la distance δ du centre.

Les observations qui donnent le moment x de l'étrier central consistent à faire osciller cet étrier, sans aimant directeur, sous l'action de la torsion seule du fil. On prend la durée d'une oscillation avec des moments différents $x + P\delta^2$. Lorsqu'on connaît le couple de torsion du fil, les résultats sont très satisfaisants.

Je me suis servi des deux paires d'aimants que m'avait si gracieusement fournis M. de Méritens. Les uns A et B ($2l = 10^c,05$ — $a = 1^c,16$) qui avaient respectivement pour masses $A = 107^{gr},270$ — $B = 107^g,000$ étaient longs et minces ; les autres M et N ($2l = 8^c,04$ — $a = 2^c,55$), étaient plus courts et plus gros, et ils avaient pour masses $M = 442^g,285$ — $N = 400^g,655$.

Pour que ces aimants puissent être tenus dans le même étrier, je me servais pour les paires A et B d'un manchon en buis, ayant même section que la paire M et N. La pièce centrale n'avait donc pas exactement le même moment d'inertie avec les deux paires d'aimant. Il a donc fallu faire deux séries d'observations pour trouver ce moment.

1° *Étrier pour les aimants* M *et* N. (Oscillation de l'aimant seul.)

x	$t = 10^s,377$	$C = 380,239$	$x = 4148,6$
$x + 42058,53$	$34^s,615$	$380,344$	$4143,0$
			$x = 4145,8$

à cet étrier il fallait ajouter, suivant le cas, $\mu M = 2384,7$ ou bien $\mu N = 2375,8$.

2° *Étrier pour les aimants* A *et* B. (Oscillations de l'étrier précédent, plus un manchon en buis, plus un barreau de cuivre de même dimension que les aimants.).

x	$t = 11^s,615$	$C = 379^s,279$	$x = 5184,4$
$x + 24309,5$	$27,707$	$379,249$	$5189,3$
$x + 42058,5$	$35,068$	$379,189$	$5188,1$
			$x = 5187,3$

De ce moment total, il faut retrancher le moment du barreau de cuivre (1016,1), et il reste le moment de la pièce centrale, légèrement plus fort que le précédent 4171,2 (unités CGS).

A cette pièce centrale, on ajoutera encore $\mu A = 915,76$ ou bien $\mu B = 912,60$.

Avec chaque paire d'aimants, j'ai fait deux séries d'observations : l'une avec le moment le plus faible possible ; l'autre en augmentant ce moment de $P\delta^2 = 24309,5$; j'ai ainsi obtenu 8 résultats indépendants les uns des autres.

Couple de torsion. — Dans la méthode telle que je l'appliquais, il fallait évaluer d'une manière précise le couple de torsion du fil C.

Lorsqu'on emploie un fil de cocon, dont le couple est très petit relativement au couple directeur de l'aimant, on peut négliger les variations de ce couple, qui sont des infiniment petits d'un ordre supérieur et la question est simplifiée. Mais ainsi que je l'ai montré plus haut, le fil de cocon fournit des oscillations trop peu

régulières pour les mesures précises, et je l'ai rejeté. Ne pouvant donc pas avoir un couple de torsion infiniment petit, j'ai préféré le prendre à peu près égal au couple directeur de l'aimant, et cela m'a entraîné aux corrections suivantes.

Le fil de laiton avait été choisi assez épais pour ne pas être blessé dans les manœuvres pour la pose des aimants, manœuvres rendues d'ailleurs aussi faciles que possible.

La mesure du couple de torsion se faisait fréquemment en faisant osciller un barreau de cuivre; et, par l'ensemble de toutes ces mesures, je me suis assuré que la température était la seule cause de variation qui atteignait cet élément. Il faut donc s'attacher à connaître le coefficient de cette variation.

Mon appareil n'était pas disposé pour étudier l'influence de variation de température sur la torsion du fil, et j'étais obligé d'attendre les changements de la température ambiante, tout en poursuivant mes recherches. Néanmoins les résultats obtenus sont très satisfaisants.

J'avais déjà, dans un autre travail, pris la loi de variations du couple de torsion de ce fil de laiton entre 10° et 100°, et j'avais trouvé que pour une augmentation de 1°C., le couple diminuait de $\frac{1}{2400}$ de sa valeur. Je rappelle seulement ce résultat, qui se trouve concorder d'une manière si frappante avec les nombres suivants, obtenus avec un échantillon du même fil de laiton, dans un appareil et avec des conditions très différentes.

Une première série de valeur obtenue pour C donne $\frac{dC}{d\theta} = -0,159.$

5 mars	$\mu = 28570,9$	$\theta = 4°,7$	$t = 26,855$	$C = 390,996$
6 mars	id.	$9°,0$	$26,884$	$390,154$

Un accident étant survenu et le fil ayant été cassé, une autre portion du même fil a donné $\frac{dC}{d\theta} = -0,150$ entre les observations extrêmes, ainsi qu'on le voit dans le tableau suivant.

24 mars. . .	$\mu = 5182,6$	$\theta = 6°,6$	$t = 11^s,598$	$C = 380,260$
23 — . . .	»	8 ,4	11 ,604	379,867
15 — . .	»	12 ,0	11 ,615	379,148
15 — . . .	20492,1	12 ,2	27 ,707	379,163
6 avril. . .	4145,8	12 ,3	10 ,387	379,252
15 mars. . .	47241,1	12 ,6	35 ,068	379,141
19 — . . .	29492,1	14 ,4	27 ,710	379,089

La concordance de tous ces résultats est certainement plus grande que je ne pouvais l'espérer, bien que le fil ait été manié plusieurs fois dans l'intervalle de ces observations (*).

Ainsi, quel que soit le moment d'inertie, je puis admettre que pour une augmentation de 1° centigrade, le couple de torsion du fil employé diminue de 0,150, ce qui est $\frac{1}{2500}$ de sa valeur. J'ai donc adopté la formule de correction suivante, dans laquelle 381,079 est la moyenne des sept nombres obtenus en les ramenant tous à la température 0°.

$$C = 381,079 - 0,150\theta,$$

et c'est le nombre ainsi corrigé qui figure dans les tableaux des observations.

(*) Les valeurs des moments d'inertie ont été obtenues par approximations successives. L'observation du 15 mars m'a donné deux premières valeurs de μ, en supposant C constant (puisque la température a peu varié). Cette valeur moyenne de μ a donné trois valeurs de C, peu dissemblables, qui ont servi à établir la loi des variations du couple; et, avec cette loi, j'ai calculé de nouveau les trois valeurs de C et de μ qui figurent dans tableau des moments d'inertie.

Moments magnétiques. — La mesure des moments magnétiques du barreau oscillant se faisait par la méthode de Gauss.

La durée de 1 oscillation donnait $\tau A + C$, dont on retranchait C. Puis on enlevait A de l'étrier, et on suspendait B; et plus tard l'action de A sur B donnait $\frac{\tau}{A}$. D'où l'on tirait à la fois τ composante horizontale terrestre et A moment magnétique du barreau.

L'intervalle de temps qui sépare les deux observations donnant τA et $\frac{\tau}{A}$ était environ deux heures, pendant lesquelles les barreaux étaient abandonnés à eux-mêmes, l'un dans la bobine, l'autre éloigné. Ils n'étaient alors soumis à aucune action magnétique appréciable, et les seules causes qui pouvaient faire varier les moments étaient l'action terrestre et la température.

L'action terrestre varie très peu dans cet intervalle de temps, à moins de perturbations magnétiques.

Mais ces perturbations sont surtout à craindre dans l'étude du mouvement oscillatoire. Malheureusement, quand on étudie les oscillations, les perturbations sont difficiles à discerner. Elles n'apparaissent nettement que lorsqu'on fait les calculs, et lorsqu'on obtient de mauvais résultats pour τA. De sorte que chaque observation doit être étudiée avec soin avant d'être acceptée. Les variations de la déclinaison indiquent immédiatement si l'observation est bonne ou mauvaise. Mais les variations de la composante terrestre, à moins d'avoir des appareils spéciaux, ne sont révélées que par la discordance des résultats.

La température variait peu d'une observation à

l'autre; la différence maximum constatée a été de 1° C.; j'avais soin d'enfermer l'aimant déviant, au moment où il était sorti de la bobine, dans une boîte de cuivre bien fermée et entourée d'une double enveloppe pleine d'eau. Les variations de température étaient ainsi très lentes, et je n'avais pas à toucher l'aimant pour les manœuvres. L'aimant était bien au centre dans sa boîte, et tout cet appareil était apporté sur son support au moment de l'observation.

Cette précaution, qui m'avait été indiquée par M. Mascart, m'a encore servi à étudier la variation du moment de ces aimants avec la température. Je mettais, dans l'enveloppe de la boîte, d'abord de la glace fondante, puis de l'eau tiède à 40° environ, et je faisais agir les aimants ainsi disposés sur un barreau auxiliaire suspendu dans la bobine. Voici les résultats obtenus; les coefficients trouvés sont la moyenne de deux observations très concordantes.

$$\begin{aligned}
A &= 1831{,}8(1-0{,}000387\,\theta),\\
B &= 1505{,}0(1-0{,}000704\,\theta),\\
M &= 2028{,}2(1-0{,}000377\,\theta),\\
N &= 1748{,}2(1-0{,}000559\,\theta).
\end{aligned}$$

Il faut observer que l'étude des aimants avec la température a été faite quelques jours après les observations rapportées dans les tableaux précédents; de sorte que les moments magnétiques sont plus faibles, les barreaux ayant perdu de leur magnétisme, probablement sous l'action de la température extérieure, qui a été assez élevée pendant cet intervalle de temps.

Quoi qu'il en soit, on voit que les variations du moment magnétique des barreaux sont très faibles. On peut donc négliger la correction qui s'introduirait par

la différence de la température du barreau entre les deux époques de l'observation.

Constante de la bobine. — La formule qui donne la résistance W pour un cercle est

$$W = \left(\frac{2\pi}{R}\right)^2 \times \frac{M^2}{h},$$

c'est-à-dire que pour avoir le nombre W il faut multiplier le quotient $\frac{M^2}{h}$ par le carré du nombre $\frac{1}{X} = \frac{2\pi}{R}$. Ce facteur représente la constante de la bobine. Il est très difficile de le déterminer avec sûreté, et cette étude est certainement la difficulté la plus sérieuse que j'ai rencontré dans le courant de ce travail.

Je vais passer en revue les différents essais que j'ai faits, et montrer comment je suis arrivé à un procédé à peu près satisfaisant.

1° J'ai essayé d'abord de calculer cette constante géométriquement, en considérant que l'enroulement avait été très régulièrement fait, et que j'avais les éléments suffisants pour déterminer le rayon moyen de la bobine. Le diamètre de la bobine vide est $39^c,6$, celui de la bobine pleine est $48^c,8$; 20 couches du fil ont été enroulées, et, après chaque couche, le diamètre croissait régulièrement de $0^c,46$, ce qui est le double de l'épaisseur du fil recouvert de coton. La mesure du diamètre de la dixième couche a donné $44^c,2$, ce qui concorde parfaitement avec les autres mesures. Le diamètre moyen est donc $22^c,1$, et on a compté en tout 1933 cercles (longueur totale, $268414^c,5$; surface totale d'enroulement, 2965936,5). On obtiendrait $\frac{1}{X} = 498,1$, en tenant compte de l'excentricité des spires.

Mais la bobine avait des dimensions trop grandes, et s'éloignait trop des conditions théoriques pour qu'on puisse accepter sans contrôle le résultat géométrique. Les formules mathématiques se calculent toujours d'après certaines hypothèses plus ou moins simples, et rien n'indique que ces hypothèses soient pleinement remplies; les quantités que l'on regarde comme négligeables ne le sont plus, dès que les suppositions faites ne sont plus rigoureusement réalisées. Ainsi il est évident que, malgré l'enroulement régulier, les couches inférieures, supportant la pression des couches supérieures, sont plus ou moins déformées; et que l'état physique du métal n'est pas exactement le même dans les diverses régions de la bobine. Plusieurs observateurs, M. Widemann en particulier, ont montré que la résistance d'un fil était altérée par les actions mécaniques, comme la torsion ou l'enroulement autour d'une bobine. En outre, certaines couches de fil sont moins serrées que les autres à cause du léger évasement des joues.

Toutes ces petites causes d'erreur, dont il est difficile d'apprécier sûrememt l'importance, laissent subsister des doutes sur la valeur du coefficient X, de sorte qu'on ne peut accepter la valeur précédente de ce coefficient que comme une première approximation.

2° J'ai voulu alors mesurer directement cette constante de l'appareil en la comparant à la constante d'une boussole géométrique construite.

Un même courant traversait les deux appareils. Ce courant, qui devait être rigoureusement constant, était formé par un fil de dix éléments thermoélectriques, bismuth-cuivre, dont une des extrémités était maintenue aux environs de 100° par un courant de vapeur

d'eau, et l'autre extrémité aux environs de 10° par un courant d'eau. Les précautions les plus minutieuses étaient prises pour que l'état de la ligne restât constant, et que les diverses jonctions des fils entre eux et avec les commutateurs fussent maintenues rigoureusement à la même température.

La boussole des tangentes avait également été construite avec le plus grand soin. Un fil de cuivre régulièrement tendu par un poids de 5 kilogrammes, avait été remonté à un cinquième étage et enroulé autour d'un manchon en laiton, en formant deux couches de fils et 18 cercles à chaque couche, en tout 36 cercles. Le rayon moyen de ces cercles, mesuré d'après la longueur enroulée est $12^c,197$. Un aimant de $3^c,5$ de longueur totale était suspendue au centre de la boussole par un fil fin d'argent recuit, l'étrier muni de miroir et de pièces d'inertie.

Un courant d'intensité i donnait dans cette boussole une déviation δ, à la distance $506^c,27$ de l'échelle; et on avait l'équation :

$$im = (\tau m + c)\frac{\delta}{506,27} \times \mathrm{B},$$

et, en faisant le calcul d'après la formule de Feilitzch, on obtenait :

$$\frac{\mathrm{B}}{506,27} = \frac{1,0734}{10^4} \quad \text{d'où} \quad \left(\log \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{D}} = \bar{4},0307649\right).$$

Le nombre δ résultait de la lecture de trois élongations successives; et les observations ordinaires permettaient de déterminer τm et c.

Le même courant traversant les deux appareils, on avait une équation analogue pour la bobine; et la combinaison des deux équations permettait de déterminer X, constante de la bobine cherchée.

Malheureusement, cette détermination est soumise à une cause d'erreur considérable : la variation de la déclinaison. Ces variations atteignent à la fois les aimants des deux appareils, de sorte que les déviations obtenues n'avaient aucune régularité; et le rapport de ces déviations ne peut pas être regardé comme constant, même à 1/10 près.

Il faut prendre la précaution de faire avec un aide des observations simultanées, à la fois aux deux appareils. Il faut également disposer les choses pour que les déviations produites par le courant soient du même côté du méridien, et à peu près de même grandeur, afin que les déviations de chacun des aimants soient augmentées ou diminuées à la fois et à peu près dans un même rapport (*).

Mais ces précautions sont insuffisantes, et il est impossible d'obtenir de bons résultats de cette façon.

On peut, il est vrai, appliquer ce procédé en ramenant les aimants au repos, et en lisant les déviations

(*) Quand on étudie la déviation produite par un courant sur l'aiguille d'une boussole, on s'aperçoit bientôt que les perturbations dues à la déclinaison sont tantôt fortement augmentées, et tantôt au contraire presque annulées. Dans aucun cas, les variations de la déclinaison ne sont identiques pour deux aiguilles, placées dans le méridien magnétique, l'une libre, l'autre soumise à l'action d'un courant.

C'est que le cadre d'un appareil, orienté dans le méridien magnétique et traversé par un courant, est équivalent à un aimant placé dans l'équateur. Lorsque la direction de la force terrestre, c'est-à-dire de la déclinaison, varie, le plan de l'équateur varie également et de la même quantité.

L'aiguille d'une boussole est donc soumise aux variations de la déclinaison de deux façons différentes, d'abord pour son propre magnétisme, puis à cause de l'aimant équivalent au cadre et dont la direction ne reste pas fixe. Ces deux perturbations sont manifestées par la même aiguille, mais elles sont indépendantes; les deux composantes horizontales qui donnent la position d'équilibre de l'aiguille varient sans cesse et indépendamment l'une de l'autre. Cette position d'équilibre change donc à chaque instant, avec plus ou moins de rapidité, suivant que les variations respectives des composantes sont de même signe ou de signe contraire. C'est ce que vérifie l'observation.

statiques. Mais, outre qu'une pareille lecture manque absolument de précision, il est difficile d'obtenir l'immobilité complète des deux aimants au même instant. Pour toutes ces raisons, j'ai préféré abandonner la détermination de la constante par ce moyen.

3° J'ai essayé de placer chaque appareil dans une caisse de fer doux assez épaisse, afin de les soustraire à l'action terrestre. La masse de fer doux était obtenue au moyen de fils de fer qui avaient été chauffés au rouge pour un autre usage. Dans une pareille cage, l'action de la terre était nulle en effet. Mais il est alors impossible d'obtenir un champ magnétique uniforme; les aimants développent, par influence, des pôles magnétiques en certains points de la cage; le champ magnétique n'est plus isotrope; l'aimant, une fois dévié, ne revient plus à sa première position, et le mouvement est complètement irrégulier. Il aurait fallu une cage de fer de dimensions énormes, plusieurs mètres de côté, pour que l'aimant dans son mouvement, et aussi la bobine, pussent être considérés comme placés au centre de la cage. Et avec ces grandes dimensions, d'autres inconvénients se seraient produits, ne serait-ce que la difficulté de se procurer une pareille masse de fer doux bien homogène, et bien soustraite aux causes de magnétisme extérieures.

4° J'ai enfin essayé de mettre les aimants et les cercles des appareils dans l'équateur magnétique. Il faut pour cela tordre le fil de suspension d'un certain angle; et ce fait introduit dans l'observation quelques inconvénients que j'étudie plus loin (V. *Étude du mouvement équatorial*), et qui se résument en disant que le mouvement n'est pas complètement pendulaire. Ces inconvénients peuvent être atténués en grande

partie, en prenant des moments magnétiques très faibles par rapport au couple de torsion du fil.

Dans cette position équatoriale et avec cette dernière indication, le couple directeur de l'aimant n'a plus qu'une influence très petite sur la durée de une oscillation ; il est alors facile de prendre les précautions nécessaires pour que les variations de déclinaison soient de même sens et à peu près de même grandeur dans chacun des deux appareils.

Ces précautions consistent d'abord à agir très vite ; puis à mettre les deux pôles nord des aimants du même côté, par exemple, à l'est magnétique; puis à faire que les durées d'oscillation des aiguilles soient aussi égales que possible, et que les déviations lues simultanément dans les deux appareils soient de même sens. Grâce à ces précautions, j'ai obtenu le rapport des déviations avec une assez grande approximation.

Voici, du reste, comment j'opérais. J'avais placé dans les deux appareils équatoriaux, la boussole géométriquement construite et le cadre dont on cherche le coefficient, deux aimants de même forme et d'aimantations différentes ; je mesurais la durée T d'une oscillation, et le moment d'inertie μ dans chaque appareil ; puis, le courant passant, les déviations, déduites par la lecture de trois élongations successives, étaient prises simultanément, une à droite, une à gauche et encore une à droite.

Ces observations se traduisaient par les équations symétriques (D et D', distances de l'échelle aux miroirs).

Pour la boussole, $$im = \frac{\pi^2 \mu}{T^2} \frac{\delta}{D} \times B,$$

Pour le cadre, $$im' = \frac{\pi^2 \mu'}{T'} \times \frac{\delta'}{D'} \times X.$$

Puis les deux observateurs changeaient d'appareils, et recommençaient les mêmes mesures : comme contrôle, il fallait que le rapport $\frac{\delta}{\delta'}$ fût le même dans les deux séries.

Puis, afin de n'avoir pas à mesurer les moments magnétiques m et m', je changeais les aimants d'appareils et je recommençais les mêmes mesures, l'aimant m' étant dans la boussole et l'aimant m dans le cadre.

La combinaison des quatre équations obtenues donnait X^2 en fonction de quantités géométriques B, D, ou facilement mesurables μ, δ, T, etc. Voici le détail d'une de ces mesures :

Boussole.		Bobine.		
$\frac{B}{D} = \frac{1,0734}{10^4}$,	$\mu = 205,0$	$\frac{X}{D'} = \frac{X}{319,30}$,	$\mu' = 4201,5$	
				1,1973
Aimant m.		Aimant m'.		1,1940
$T = 10^s,985$	$\delta = 6^c,592$	$T' = 10^s,527$,	$\delta' = 7^c,893$	$\frac{\delta'}{\delta} = 1,1957$
	7,960		9,504	
Aimant m'.		Aimant m.		0,48514
$T_1 = 10^s,867$	$\delta_1 = 11,574$	$T'_1 = 10^s,543$	$\delta'_1 = 5,615$	0,48527
	12,566		6,098	$\frac{\delta'_1}{\delta_1} = 0,48521$

$$\frac{1}{X} = 482,98.$$

La moyenne de trois observations concordantes a donné $\frac{1}{X} = 483,00$.

Cette détermination a l'inconvénient de ne pas être faite avec les aimants définitifs; c'est qu'en effet ces aimants sont trop puissants pour être placés dans la boussole, telle que je l'avais disposée; ils donneraient des déviations trop grandes eu égard à l'échelle divisée.

Il aurait donc fallu construire une autre boussole de plus grand diamètre et moins sensible.

Mais les essais que j'ai faits, avec les aimants définitifs, bien que n'étant pas suffisamment précis pour conduire à une valeur exacte, m'ont indiqué qu'avec ces aimants, dont la longueur est 8^c et 10^c, le coefficient $\frac{1}{X}$ est très sensiblement le même qu'avec les aimants plus courts. Il n'y a donc pas lieu de faire une correction quelconque, pour tenir compte de la longueur des aimants.

Résultats et corrections. — Les résultats obtenus se présentent par groupes de deux, la mesure des moments magnétiques exigeant l'emploi de deux aimants conjugués.

Les rapports $\frac{A^2}{h}$ ont été multipliés par $\frac{1}{X^2} = (433,00)^2$, et le produit devrait représenter la résistance W de la bobine à la température de l'observation.

Mais ce produit doit être corrigé de l'erreur due à la self-induction. Le courant total qui amortit les oscillations de l'aimant, peut être considéré comme la superposition de deux courants induits : d'abord le courant induit directement par l'aimant sur la bobine; puis l'extra-courant, c'est-à-dire le courant induit par le précédent dans les différentes spires de la bobine. Il n'est pas facile de séparer les deux termes composant cette somme; on voit seulement que la correction est positive, puisque l'amortissement h serait plus faible s'il était dû seulement au premier courant induit, par suite le quotient $\frac{M^2}{X^2 h}$ serait plus fort (*).

(*) Un autre effet perturbateur de l'extra-courant est de faire que le point

La correction est difficile à déterminer avec exactitude. Clerk Maxwell, dans son traité d'électricité, a étudié la question mathématique, et il conclut que la correction de la self-induction est de la forme $+ 2L\alpha$. L, représentant une longueur, est le coefficient de self-induction, constant pour une même bobine, et dépendant du nombre de tours, de leur forme et de leur arrangement; α étant le nombre calculé dans chaque expérience par la formule $Z = e^{-\alpha T}$.

Le coefficient L est assez délicat à déterminer expérimentalement. Je l'ai mesuré, au laboratoire de M. Potier, à l'École polytechnique, en comparant le coefficient de self-induction à la capacité d'un condensateur évaluée en microfarads. J'ai trouvé ainsi $L = 10^9 \times 1,47$. — Le nombre α, toujours très faible est déterminé dans chaque observation.

La somme $W = \frac{M^2}{X^2 h} + 2L\alpha$ représente donc la résistance de la bobine à la température de l'observation à laquelle ont été mesurés h et M. Cette température était soigneusement relevée sur un bon thermomètre placé dans l'intérieur de la bobine, à côté du système oscillant. Je n'ai jamais agi qu'à la température ordinaire, et j'avais pris de grandes précautions pour que l'appareil restât à une température rigoureusement uniforme pendant toute la durée de l'observation. Cette constance de la température est du reste une condition essentielle pour que les oscillations soient bien régulières: aussitôt qu'une différence de température, quelque faible qu'elle soit, s'établit entre deux points

de maximum de résistance au mouvement ne coïncide pas avec le maximum de vitesse de l'aimant. L'oscillation amortie n'est donc pas entièrement symétrique. Mais cet effet est absolument négligeable.

de l'appareil, les oscillations sont perturbées. On peut donc être bien certain que la température est restée constante pendant l'observation.

Pour rendre les mesures comparables entre elles, j'ai ramené la résistance à ce qu'elle aurait été à la température 0°. Ma bobine ayant été construite avec le fil de cuivre le plus pur que fournisse le commerce, j'ai adopté le coefficient ordinaire 0,0038 de variation de la résistance du cuivre pour 1° C. Je n'ai pas mesuré d'une manière très précise le coefficient de variation du fil de ma bobine, je me suis contenté de vérifier qu'il n'était pas très éloigné du nombre ordinaire 0,030 (dans une mesure grossière, entre 0° et 47°, j'avais trouvé sur un échantillon du fil 0,0036).

Tableau des Résultats.

N°s	$\frac{M^2}{h}$	θ	$\frac{M^2}{X^2 h}$	$+2La$	W_θ	W_0	W	
1	59 004,4	12°,9	13,765	0,0032	13,768	13,125	13,131	105,97
	58.996,4	12°,7	763	26	766	136		
2	57.765,8	7°,3	13,476	0,0181	13,494	13,127	13,158	105,74
	58.169,5	7°,9	570	142	584	188		
3	57.909,9	5°,1	13,510	0,0166	13,527	13,275	13,222	105,23
	57.583,2	5°,4	433	136	447	170		
4	58 607,9	8°,8	13,673	0,0036	13,677	13,241	13,200	105,41
	58.543,1	9°,9	657	30	660	160		

Le tableau précédent comprend le numéro d'ordre de

l'observation correspondant au numéro des tableaux d'observations précédents, le rapport $\frac{M^2}{h}$ qui se trouve déjà dans ces tableaux, et la température θ; puis le produit $\frac{1}{10^9} \times \frac{M^2}{X^2 h}$, dans lequel $\frac{1}{X} = 483,00$; puis le terme de correction dû à la self-induction $2L\alpha$, et la somme W, représentant la résistance de la bobine à la température θ; enfin le nombre $W_0 = \frac{W_\theta}{1 + 0,0038.\theta}$ qui est la résistance de la bobine à 0°.

La colonne suivante W donne la moyenne des deux nombres précédents obtenus avec les mêmes aimants et dans les mêmes conditions. Enfin, le dernier nombre est la longueur de la colonne de mercure de 1 millimètre de section, et prise à 0°, équivalente à la résistance W. Ce nombre a été obtenu de la manière suivante :

La bobine dont je me servais présentait une résistance de 13,924 à la température 13°, mesurée avec l'unité de l'Association Britannique. M. Mascart avait bien voulu faire cette mesure avec les appareils et les étalons dont il disposait au collège de France. Cette résistance ramenée à 0° était 13,270, et elle était 13,9142 en colonne de mercure, en prenant 0,9537 pour le rapport entre l'unité BA et l'unité mercurielle. Les nombres portés dans la dernière colonne du tableau sont les quotients $\frac{13,9142}{W}$.

La moyenne de tous les nombres est 105,57. Ce résultat paraît être trop faible, eu égard aux autres déterminations de l'ohm, qui donnent à peu près toutes des nombres supérieurs à 106.

La principale cause, à laquelle je crois devoir attribuer la faiblesse de ce résultat, est la correction de self-induction, d'abord parce que le coefficient de L est difficile à déterminer avec sûreté, puis parce que l'effet de cette self-induction n'est pas absolument hors de doute; le calcul qui amène cette correction n'est pas suffisamment étayé par l'expérience. Je crois donc devoir faire une seconde série, pour m'attacher surtout à n'avoir pas à tenir compte de cette correction.

Deuxième série.

Les nombres fournis par les observations précédentes concordent suffisamment entre eux pour légitimer les corrections auxquelles ils ont été soumis. Cependant, comme les corrections, quelles qu'elles soient, laissent toujours subsister quelques doutes, j'ai voulu faire une nouvelle série d'observations dans lesquelles les nombres seraient aussi peu altérés que possible par les réductions subséquentes.

1° *Longueur de l'aimant.* — Dans les observations qui précèdent, j'avais négligé la longueur du barreau oscillant : des aimants, dont la longueur totale variait depuis $3^c,5$ (barreau avec lequel a été déterminée la constante X) jusqu'à 8 et 10 centimètres (aimants définitifs), oscillaient au centre d'un cercle dont le diamètre géométrique moyen était 44^c2; et je supposais que dans tous les cas les deux pôles étaient concentrés sur l'axe, bien que le rapport $\frac{l^2}{R^2}$ fût supérieur aux nombres que l'on néglige ordinairement dans des calculs analogues. Mais l'ensemble des observations montre qu'il

en est ainsi, et que la longueur de l'aimant oscillant n'a aucune influence sur l'amortissement des oscillations, du moins dans les limites entre lesquelles j'opérais.

Toutefois, dans la deuxième série, afin de n'avoir aucune hésitation à ne pas tenir compte de la longueur de l'aimant, j'ai pris un cadre rectangulaire en bois mince, recouvert de fils. Le cadre avait 50 centimètres de long sur 8 centimètres de large, et 10 centimètres de hauteur verticale, mesures de la couche moyenne. L'aimant oscillait au centre de ce cadre parallèlement à la longueur; il était toujours ainsi dans la même position, relativement aux diverses portions horizontales du fil, que les pôles fussent au centre ou qu'ils en fussent éloignés d'une distance de 5 centimètres, et les portions verticales étant à la fois très éloignées et très courtes, la différence de leurs actions dans les deux cas était évidemment infiniment petite.

Ainsi la forme de la bobine choisie, rectangle allongé et de petite hauteur, suffit pour qu'on puisse ne pas tenir compte de la longueur de l'aimant oscillant.

2° *Moments magnétiques.* — Dans la première série, les moments magnétiques étaient obtenus quelques heures après les autres résultats nécessaires, décrement logarithmique, couple de torsion, etc.; et je n'avais aucun moyen de corriger la température du barreau si elle avait varié. C'est probablement ce désidératum qui occasionne les divergences assez grandes entre les divers nombres précédents.

Dans la deuxième série, j'ai agi autrement : j'ai déterminé à part le moment magnétique de tous les barreaux dont je devais me servir pour les observations des décrements logarithmiques. J'établissais en même

temps les variations du magnétisme de chacun de ces barreaux avec la température, ainsi que je l'ai indiqué précédemment.

La succession des observations de cette deuxième série a donc été celle-ci : 1° mesure des moments magnétiques des barreaux et de leur variation entre 0° et et 35° ; 2° observation des oscillations et mesure des décrements logarithmiques ; 3° nouvelle mesure des moments magnétiques et de leur variation avec la température.

La mesure des moments magnétiques a donc été faite deux fois : immédiatement avant et immédiatement après les observations d'oscillations. Ces deux mesures étaient parfaitement concordantes ; et j'ai pu, de la loi de variation de ces moments avec les températures, déduire très sûrement la valeur du moment du bareau oscillant, à la température de l'oscillation.

Ce sont les nombres ainsi trouvés qui sont rapportés dans les tableaux des expériences de la deuxième série.

3° *Couple de torsion.* — Le couple de torsion du fil doit être connu très exactement, pour les mesures du couple directeur de l'aimant, et par suite du moment magnétique. Dans la première série, j'avais déterminé plusieurs fois le couple du fil de suspension, et en rassemblant ces diverses déterminations, toutes très concordantes, j'avais établi une formule empirique qui me donnait la valeur du couple à chaque instant. Cette manière de procéder ne me paraît prêter à aucune critique sérieuse.

Cependant, dans la deuxième série, j'ai voulu me rapprocher encore plus de la réalité en mesurant le couple au moment même où j'en avais besoin. Pour

cela, j'ai établi deux fils voisins, bien que sur des supports séparés.

Ces fils portant, l'un l'aimant au centre de la bobine, l'autre un équipage identique au précédent avec un barreau de cuivre, oscillaient séparément. Le fil portant le barreau de cuivre donnait le couple de torsion à la température et dans les conditions de l'observation. Le rapport du couple des deux fils avait été mesuré très exactement, et plusieurs fois, par les mêmes observations qui mesuraient les moments d'inertie : ce rapport restait constant, puisque les deux fils voisins étaient soumis aux mêmes actions atmosphériques et mécaniques. Je m'en suis assuré, du reste, à la fin de la série.

4° *Correction de self-induction.* — Cette correction, appréciable dans la première série, a été rendue absolument négligeable dans cette seconde série. Cette correction se compose en effet du produit $2L\alpha$: α peut être rendu aussi petit que l'on veut en prenant des oscillations de longue durée ; et L, constant pour une même bobine, croît avec le nombre de tours. J'ai donc construit la bobine rectangulaire avec 476 tours seulement au lieu de 1933, et je me suis attaché à avoir des oscillations de longue durée. Grâce à ces deux précautions, j'ai pu négliger cette correction.

Je me suis du reste assuré que, avec la bobine rectangulaire à 476 tours, le coefficient de self-induction L était négligeable : l'observation de l'amortissement donne un moyen très simple pour le faire. Il suffit de mesurer le coefficient h, dû au même aimant dans la bobine, avec des moments d'inertie très différents, et le même jour, pendant que la température varie très peu. J'ai toujours trouvé pour h des nombres très voi-

sins les uns des autres, et les produits Wh, de la résistance de la bobine par le moment du décrement logarithmique, ramenés à la température de l'observation, sont à peu près égaux. Voici une série d'expériences très concordantes (W à 0° est le nombre 2,1792, mesuré avec l'unité de l'Association Britannique), et qui donneraient pour L un nombre négatif, puisque le produit Wh augmente à mesure que 2 Lα diminue.

θ	T	μ	h	Wh
21°,2	9^s,981	5335,6	58,9572	139,9819
20°,7	15^s,364	12576,3	59,1794	140,2611
20°,4	24^s,409	31738,3	59,3084	140,4103

On peut donc admettre que dans cette bobine la correction due à la self-induction ne porte que sur des chiffres inférieurs à ceux qui doivent être conservés.

5° *Constant de la bobine.* — C'est, comme je l'ai exposé plus haut, l'élément le plus difficile à mesurer avec précision. Le procédé, qui, dans la première série, m'avait donné les meilleurs résultats, a fourni pour cette bobine le nombre $\frac{1}{X} = 207,50$. Mais il faut remarquer que la déviation occasionnée par le cadre est généralement plus grande que celle occasionnée par le galvanomètre; la diminution de la déclinaison est donc relativement moins importante pour le cadre que pour le galvanomètre; le rapport des déviations est une fraction plus grande que l'unité dans laquelle les deux termes diminuent d'une quantité à peu près

égale; le quotient est donc trop grand, et par suite le nombre $\frac{1}{X}$. Le nombre $\frac{1}{X}$, représentant la constante de la bobine, est donc trop fort si la déclinaison augmente : c'est-à-dire que sa valeur varie avec l'heure de l'observation. D'après la marche de la déclinaison, au moment de la détermination précédente, il résulte que le nombre trouvé est trop grand.

Ainsi le procédé indiqué reste soumis aux perturbations de la déclinaison, et on ne peut s'empêcher d'avoir quelques craintes lorsqu'on voit les déviations absolues varier dans de très grandes proportions, bien que leur rapport reste à peu près constant. J'ai diminué sensiblement ces variations en mettant des aimants directeurs dans le voisinage des appareils ; la force terrestre n'est plus alors qu'une petite fraction des forces totales qui agissent sur l'aiguille. Mais on introduit ainsi une assez grande complication dans le champ magnétique, et, comme il faut changer les aimants d'appareils, on n'a plus la constante des forces supposée dans les équations.

A la suite de tous ces essais à peu près infructueux, je pense qu'il est plus sûr de rejeter franchement ces divers procédés. Pour faire les autres observations, amortissement, moments magnétiques, etc., il a été nécessaire de donner aux appareils une grande sensibilité. Mais lorsqu'il s'agit de mesurer la constante galvanométrique, cette sensibilité devient une gêne, car elle ne permet que des déviations très petites, comparables aux variations de la déclinaison; de sorte que la sensibilité enlève toute précision à la mesure : il faut donc franchement rejeter, dans la détermination des constantes, cette trop grande sensibi-

lité, et chercher à mesurer des angles de 10° à 30°, comme on mesure des angles ordinaires.

J'ai disposé dans les appareils un goniomètre ordinaire ; l'aimant portant un petit miroir réfléchit la fente d'un collimateur dans une lunette à alidade, et, lorsque le courant passe, on suit la déviation avec la lunette. La mesure peut se faire facilement à 1′ ou 2′ près, ce qui est une approximation très suffisante, et la variation de déclinaison n'a plus alors aucune importance.

L'inconvénient de ce procédé, c'est que l'aimant suspendu à un fil de torsion, au centre du goniomètre, exécute des oscillations autour de sa position d'équilibre ; et il faut réduire ces oscillations le plus possible, de façon à les enfermer dans le champ de la lunette.

Malheureusement l'emploi de cette méthode doit être prévu dès la construction des appareils. Il faut pouvoir placer et centrer un goniomètre assez grand dans les bobines ; il faut protéger l'aimant mobile et le fil de torsion contre les courants d'air ; il faut pouvoir porter facilement le cercle, le fil de torsion et l'aimant d'un appareil dans l'autre, etc. Toutes ces difficultés mécaniques n'existent plus lorsqu'elles sont prévues au moment de la construction ; mais elles ont été assez graves dans mon appareil construit sans précautions spéciales ; et j'ai dû me contenter d'une approximation que j'aurais trouvée très insuffisante, si je l'avais pu. Cependant les nombres trouvés sont encore plus satisfaisants que par les autres méthodes.

Je me suis servi de un, puis de deux couples Daniell, sulfate de cuivre et sulfate de zinc, montés depuis plusieurs jours et fermés sur le circuit, et j'ai répété la mesure deux fois ; j'ai eu ainsi les quatre nombres sui-

vants : 205,50, — 206,25, — 206,95, — 207,50, — dont la moyenne générale est $\frac{1}{X} = 206,55$.

Résultats. — Le tableau suivant résume les observations faites dans cette seconde série, et conservées après la discussion du décrement logarithmique.

N°	MOMENT MAGNÉTIQUE.	h	θ	$\frac{M^2}{h}$	$\frac{M^2}{h}$ à 0°
1	A = 1827,7	70,4205	5°,8	47 436,3	46 415,2
2	B = 1498,7	47,2234	5°,9	506,2	465,4
3	N = 1741,9	63,8170	6°,4	545,6	417,7
4	M = 2022,8	85,8138	7°,0	681,4	445,9
5	M = 2022,1	85,4080	8°,0	874,8	462,3

La dernière colonne est le rapport $\frac{M^2}{h}$ ramené à 0°. Cè rapport, dont la constance indique la précision de la méthode d'amortissement, est sensiblement constant. La moyenne des cinq nombres obtenus est 46 441,3, et l'erreur moyenne ne dépasse pas $\frac{1}{2000}$. Je suis donc persuadé que cette méthode appliquée avec grand soin peut donner de très bons résultats dans la recherche définitive de l'ohm.

La seule difficulté que j'aie rencontrée, c'est la détermination de la constante galvanométrique, $\frac{1}{X}$. Je l'ai prise égale à 206,55, avec une erreur moyenne de

$\frac{1}{200}$. En prenant $\frac{M^2}{h} \times \frac{1}{X^2}$, on obtient $W = 10^9 \times 1{,}9813^2$.

Or cette bobine rectangulaire est d'une résistance égale à 2,3316 mesurées à 16°,1 en unités BA (Mascart). En ramenant cette résistance à 0° et à la colonne de mercure, on obtient 2,09385, comme il a été fait pour la première série, en en prenant le rapport $\frac{2{,}09383^2}{1.98132} = 105{,}67$.

Telle est à $\frac{1}{100}$ près la valeur de l'ohm à laquelle me conduit la série des observations précédentes.

La conférence internationale s'est arrêtée à la valeur $106^c{,}0$, autant parce que ce nombre représentait sensiblement la moyenne des résultats connus jusqu'à ce jour, que parce que c'était un nombre rond pouvant simplifier les calculs numériques.

Observations de la 2e série.

N° 1. 20 *avril* 1884. *Aimant* A.

	Circuit ouvert.		Circuit fermé.	
$A = 1827,7$	0,38	54,99	3,48	53,48
$\mu = 5304,2$	0,49	54,83	6,62	50,07
$T = 10^s,084$	0,63	54,67	9,33	47,11
	1,002 626		1,072 573	
$\theta = 5°,8$	19,22	35,87	15,56	40,41
$\frac{A^2}{h} = 47\,436,3$	19,29	35,82	17,12	38,77
$\tau = 0,192\,55$	19,35	35,76	18,50	37,28
	1,003 637		1,072 526	
	$\frac{1}{z} = 1,003\,132$		$\frac{1}{z} = 1,072\,550$	
	$h' = 3,26070$		$H = 73,68120$	
	$h = 70,42050$			

N° 2. 20 *avril* 1884. *Aimant* B.

	Circuit ouvert.		Circuit fermé.	
$B = 1498,7$	7,84	54,19	10,45	52,78
$\mu = 5301,0$	7,99	54,04	12,40	50,63
$T = 10^s,778$	8,10	53,90	14,19	48,71
	1,002 989		1,052 312	
$\theta = 5°,9$	23,90	37,73	20,81	40,50
$\frac{B^2}{h} = 47\,506,2$	23,92	37,69	21,80	39,58
$\tau = 0,192\,39$	23,97	37,63	22,67	38,72
	1,003 098		1,052 429	
	$\frac{1}{z} = 1,003\,044$		$\frac{1}{z} = 1,052\,371$	
	$h' = 2,98978$		$H = 50,21311$	
	$h = 47,22336$			

N° 3. 23 *avril* 1884. *Aimant* N.

	Circuit ouvert.		Circuit fermé.	
$N = 1741,9$	1,21	53,92	1,71	52,91
$\mu = 33\,218,4$	1,37	53,82	3,08	51,57
$T = 25^s,718$	1,52	53,69	4,40	50,30
	1,002 578		1,027 695	
$\theta = 6°,4$	18,42	37,14	16,90	38,27
$\frac{N^2}{h} = 47\,545,6$	18,50	37,10	17,48	37,72
$\tau = 0,193\,56$	18,53	37,06	18,05	37,20
	1,002 554		1,027 801	
	$\frac{1}{z} = 1,002\,566$		$\frac{1}{z} = 1,027\,748$	
	$h' = 6,5630$		$H = 70,3800$	
	$h = 63,8170$			

N° 4. 23 *avril* 1884. *Aimant* M.

	Circuit ouvert.		Circuit fermé.	
$M = 2022,8$	13,92	43,91	16,61	42,13
$\mu = 6824,7$	14,10	43,77	18,31	40,29
$T = 11^s,048$	14,27	43,60	19,79	38,69
	1,005 480		1,077 966	
$\theta = 7°,0$	24,01	33,97	21,52	36,98
$\frac{M^2}{h} = 47\,681,4$	24,08	33,92	22,53	35,83
$\tau = 0,193\,35$	24,12	33,87	23,42	34,89
	1,005 342		1,077 487	
	$\frac{1}{z} = 1,005\,411$		$\frac{1}{z} = 1,077\,727$	
	$h' = 6,6672$		$H = 92,4810$	
	$h = 85,8138$			

Observations de la 2e série (*suite*).

N° 5. 23 *avril* 1884. *Aimant* M.

	Circuit ouvert.		Circuit fermé.	
$M = 2022,1$	0,83	52,71	1,30	51,34
	0,99	52,59	3,02	49,71
$\mu = 33\,227,7$	1,11	52,42	4,60	48,20
$T = 24^s,445$	1,002766		1,035041	
$\theta = 8°,0$	13,64	39,99	11,02	43,10
$\frac{M^2}{h} = 47\,874,8$	13,71	39,89	12,08	42,03
	13,78	39,83	13,01	41,01
$\tau = 0,19315$	1,002867		1,034592	
	$\frac{1}{z} = 1,002817$		$\frac{1}{z} = 1,034822$	
	$h' = 7,6468$		$H = 93,0548$	
	$h = 85,4080$			

NOTE

Etude du mouvement d'une aiguille aimantée placée dans l'équateur magnétique. — Lorsqu'une aiguille aimantée est suspendue à un fil dont le couple de torsion est suffisamment fort, on peut l'amener dans un azimuth quelconque et en particulier dans l'équateur magnétique. Si l'on suppose l'origine des angles placée à la position que prendrait un barreau de cuivre, cette position fait avec l'équateur un angle a, et l'on a d'abord l'équation d'équilibre statique

$$Ca = \tau M$$

entre les deux couples directeurs du barreau aimanté.

Si l'on écarte l'aiguille d'un angle ω de sa position d'équilibre, elle y reviendra par une série d'oscillations, et l'équation du mouvement sera, en prenant les notations habituelles dans le courant de ce travail,

$$\mu \frac{d^2\omega}{dt^2} + H \frac{d\omega}{dt} + C(a \pm \omega) = \tau M \cos \omega.$$

Le mouvement représenté par cette équation n'est pas absolument semblable à celui du barreau dans le méridien magnétique.

L'intégration de l'équation précédente est longue et pénible, et l'on ne peut amener l'intégrale à une forme facile à discuter, qu'au moyen d'hypothèses et de simplifications qui dépassent souvent la réalité des choses.

Mais on peut prévoir les particularités de ce mouvement en discutant l'équation d'équilibre statique

$$C(a \pm \omega) = \tau M \cos \omega = \tau M \left(1 - \frac{\omega^2}{2} + \frac{\omega^4}{2.3.4} \ldots\ldots\right).$$

Cette équation montre que si l'équilibre de l'aiguille dans la position équatoriale vient à être rompu, sur les deux couples qui sollicitent le barreau, l'un varie comme l'angle d'écart $\pm C\omega$, et l'autre comme le carré de cet angle $-\tau M \frac{\omega^2}{2}$.

L'oscillation n'est donc pas systématique autour de l'équateur ; par suite, la durée de l'oscillation n'est pas la même aux différents points de l'échelle, et cette durée varie rapidement avec l'amplitude, conséquences que j'ai vérifiées par l'observation directe.

De plus, de ce que le champ de l'oscillation n'est pas bien homogène, il résulte que la vitesse du mobile et l'amortissement ne sont pas non plus bien régulières, et le sont d'autant moins que le couple directeur de l'aimant τM a été pris plus fort pour avoir un grand amortissement.

En résumé, le mouvement du barreau aimanté autour de l'équateur n'est pas un mouvement rigoureusement pendulaire ; les éléments d'un pareil mouvement ne sont plus simples comme le suppose la théorie ; et pour utiliser un pareil mouvement, il faut prendre un couple de torsion très grand par rapport au moment magnétique du barreau suspendu, et dans ce cas l'amortissement du barreau aimanté est très faible.

DES

FILS DE CUIVRE ET DE BRONZE SILICIEUX

DANS LES TRANSMISSIONS TÉLÉGRAPHIQUES.

(Extrait d'une communication faite à la Société de physique par M. Vivarez.)

Avant d'aborder l'étude du bronze silicieux, il faut s'arrêter quelques instants à celle de la conductibilité électrique des cuivres.

On trouve dans le commerce des fils de cuivre de diverses provenances et de conductibilité extrêmement différente, variant de 14 p. 100 à 95 p. 100.

Cela n'a rien de surprenant. Les cuivres impurs contiennent un grand nombre de corps étrangers, et de simples traces de ces corps suffisent pour réduire considérablement la conductibilité. Un petit nombre de maisons fabriquent en outre des fils dits de haute conductibilité, qui sont plus spécialement employés pour les câbles de la télégraphie sous-marine et souterraine. pour les conducteurs de lumière et de force, pour les bobines des machines dynamo-électriques. Ces fils de haute conductibilité présentent aussi entre eux de sensibles différences.

Cela tient à ce que les impuretés étrangères ne sont pas la seule cause d'une diminution de conductibilité. Le cuivre contient dans sa masse une proportion très

variable de son propre oxydule, qui est isolant, comme on le sait, et dont les particules forment autant d'obstacles au passage du fluide électrique. Il n'y a pas encore bien longtemps, l'administration des télégraphes n'imposait d'autre condition aux fils de cuivre destinés à la télégraphie souterraine que de conduire l'électricité d'une manière quelconque. C'est alors qu'on s'aperçut que les fils de cuivre en usage n'avaient que 30 p. 100 de conductibilité, et qu'on fut amené à imposer aux fournisseurs une conductibilité minima de 60 p. 100.

Ceux-ci, se voyant contrôlés, arrivèrent à donner 65 p. 100 et peu après on exigea 80 p. 100, taux qui est resté exigible au ministère de la marine, tandis qu'au ministère des postes et télégraphes, il s'est élevé jusqu'à 95 p. 100.

Un chimiste anglais, M. Matthiesen, a fait à cet égard d'intéressantes expériences.

Six d'entre elles nous révèlent les résultats suivants. Il s'agit de fils étirés à froid dont la conductibilité, rapportée à celle de l'argent, a été mesurée à des températures oscillant entre 18° et 20°.

Cuivre galvanique non fondu.	93,46	p. 100
— du commerce non fondu.	93,02	—
— pur fondu avec réduction par l'hydrogène.	92,76	—
	92,89	—
	93,00	—
— galvanique fondu à l'air.	73,42	—

Proportion d'oxyde non déterminée.

Ces résultats révèlent l'influence considérable que la présence d'oxydule produit sur la conductibilité. On voit qu'elle la réduit de 20 p. 100.

Dans la préparation des cuivres purs, on n'a donc

fait que la moitié de la besogne lorsqu'on a chassé les corps étrangers. Il reste encore à débarrasser le métal de son propre oxyde.

Lorsqu'il n'en renferme plus aucune trace, il atteint la conductibilité de l'argent. Il fallait donc trouver un procédé industriel pour cette élimination.

Le phosphore était naturellement indiqué en raison de son affinité pour l'oxygène. Il réduit l'oxyde, passe dans les crasses, et ne reste dans le métal qu'à l'état de traces.

Malheureusement, ces traces rendent le métal aigre et, de plus, si le phosphore reste en excès soit à l'état libre, soit à l'état de phosphure, on a remplacé l'oxyde, mauvais conducteur, par des substances qui le sont également.

Le silicium, au contraire, tout en produisant la même désoxydation, ne diminue pas la conductibilité dans la même proportion, s'il reste en excès. Il ne modifie pas la rigidité de l'alliage, et il est même permis de croire que des traces de silicium exercent sur le cuivre une action analogue à celle qu'elles exercent sur le fer, en augmentant sa résistance mécanique.

On constate que le cuivre traité par ce procédé est plus dense et qu'il rompt sous une charge un peu supérieure à celle des cuivres purs de préparation différente.

Le cuivre ainsi préparé atteint un degré de conductibilité électrique supérieur à tout autre cuivre.

Il a été fréquemment comparé à l'étalon, réputé pur, qui, à la température de 0° et sous le diamètre de 1 millimètre, présente une résistance électrique de $20^{\text{ohms}},57$ par kilomètre, et la résistance du cuivre ainsi préparé est descendue jusqu'à $19^{\text{ohms}},56$.

Sa conductibilité est donc supérieure à celle de l'étalon actuel.

Il est facile de passer du *cuivre silicieux* au *bronze silicieux*, qui a sur le cuivre l'avantage d'une résistance mécanique plus considérable avec une conductibilité peu inférieure. On procède pour sa fabrication suivant la méthode indiquée par M. Sainte-Claire Deville pour la préparation des siliciures de cuivre, en faisant agir sur le mélange de cuivre et de fluosilicate de potasse, non plus du sodium métallique, mais un alliage d'étain et de sodium que M. Weller a appelé *étain sodé.*

On peut graduer à volonté la conductibilité et obtenir une série continue dans laquelle la diminution progressive de la conductibilité correspond à une résistance mécanique croissante. Ces deux propriétés ne sont pas inversement proportionnelles, et les courbes qui ont été dressées par points à l'aide des propriétés de divers échantillons présentent une concavité qui les rapproche de la forme d'une hyperbole. Vous en retrouverez la reproduction à la fin d'un petit opuscule que j'ai rédigé sur le sujet qui nous occupe, et dont un certain nombre d'exemplaires ont été mis à votre disposition.

Dans la série continue des types de *bronzes silicieux* dont nous venons de parler, M. Lazare Weiller s'est arrêté à deux principaux :

Pour le premier, il a poussé la conductibilité à son maximum et il obtient couramment ce fil avec 97 p. 100 à 99 p. 100 de la conductibilité théorique.

La résistance mécanique correspondante est de 45 à

47 kilomètres par millimètre carré et, chose précieuse, tout en conservant une malléabilité qui permet de le plier plusieurs fois sans le rompre, ce fil ne s'allonge que d'un centième environ de sa longueur sous le poids qui entraîne sa rupture.

Ces heureuses propriétés rendent ce fil précieux pour les usages de la télégraphie aérienne. Sous le diamètre de 2 millimètres, il correspond comme conductibilité au fil de fer de 5 millimètres et, tandis que celui-ci pèse 155 kilogrammes au kilomètre, il ne pèse que 28 kilogrammes, c'est-à-dire plus de *six* fois moins.

Pour la téléphonie, un excès de conductibilité n'est pas nécessaire et, comme on emploie des fils fins, c'est la résistance mécanique qui est la propriété principale à rechercher dans le type adopté pour cet usage ; la conductibilité est réduite à 35 p. environ de celle du cuivre pur, mais la résistance à la charge s'élève à plus de 70 kilogrammes par millimètre carré.

On l'emploie sous le diamètre de $1^{mm},10$ pour remplacer des fils d'acier de 2 millimètres. Il ne pèse que $8^{k},45$ au kilomètre ; le fil d'acier pèse 25 kilogrammes.

Enfin, en acceptant une conductibilité réduite à 22 p. 100, on obtient une résistance de 90 kilogrammes par millimètre carré. Voici divers échantillons de ces fils, fils simples, fils tressés, diamètres variables. On peut descendre à des diamètres de quelques centièmes de millimètre, et obtenir des fils fins comme des cheveux.

De ces comparaisons, un premier fait se dégage : les lignes en bronze silicieux ont un poids plusieurs fois moindre que les lignes en fer et en acier.

N'est-il pas évident que cette diminution correspond

à une plus grande facilité de pose et à une économie sensible dans le nombre et les dimensions des supports?

On sait que dans la pratique les fils d'acier et de fer sont enroulés en couronnes d'une vingtaine de kilogrammes. Ces couronnes sont expédiées soit par chemin de fer, soit par voitures, et il arrive un moment où l'ouvrier, chargé de la pose, doit prendre la couronne et la porter à dos jusqu'à pied d'œuvre.

Il faut ensuite qu'il la soulève, la porte à l'échelle et la déroule dans une position plus ou moins commode. S'il s'agit de lignes téléphoniques, c'est dans des escaliers étroits et sur les toits que les hommes sont obligés de porter des poids encombrants et dangereux.

Et je ne fais allusion ici qu'au service dans les villes et dans les contrées civilisées, sillonnées par des chemins de fer et de bonnes routes.

Dans les pays neufs, le télégraphe précède bien souvent la route.. Je me rappelle avoir suivi pendant trois jours de marche dans un pays coupé de torrents et de marécages, sans un sentier, une partie de la ligne qui relie Vadsœ et Hamerfest au nord de la Laponie. Combien devient difficile dans ces conditions la pose du télégraphe, qui est comme le pionnier de la civilisation!

Je tiens d'un honorable membre de cette Société, M. Lacoine, directeur technique des télégraphes ottomans, qu'en Turquie et particulièrement en Asie Mineure, où les bureaux télégraphiques sont peu nombreux et très espacés, les transports de matériel doivent se faire entièrement à dos d'homme pendant plusieurs jours, ce qui est difficile et coûteux, malgré la force légendaire des gens de ce pays.

Vous voyez, Messieurs, par ces quelques réflexions,

combien le poids du fil a une importance considérable dans l'établissement d'une ligne. Toute diminution dans ce poids constituera donc un progrès considérable, et ce progrès ne consistera pas seulement dans la diminution du poids même des fils. Le fil étant plus léger, les isolateurs seront plus petits, les poteaux pourront avoir des dimensions plus faibles et être plus espacés. Le nombre de ceux qu'on doit renforcer pour résister aux tractions latérales dans les courbes sera également diminué : économie de prix d'achat et de transport à pied d'œuvre. Dans la Cochinchine et le Tonkin, dont on parle tant en ce moment, les poteaux sont ordinairement faits de hauts bambous un peu frêles pour supporter le poids des gros fils ; par l'emploi de fils légers, on aurait immédiatement sur place les poteaux qui leur conviennent.

Une autre conséquence de l'emploi des fils fins est la facilité avec laquelle on peut les obtenir en bouts de grande longueur, ce qui diminue les ligatures ou les soudures et augmente, par conséquent, la sécurité de la transmission.

Enfin les petits fils sont moins accessibles à l'action du vent et à l'accumulation de la neige, qui est une cause fréquente de rupture. Les fils silicieux, lisses à leur surface, paraissent également donner une prise moins facile au verglas, et je sais des lignes établies en pays froids qui traversent en ce moment leur troisième hiver sans avoir subi de ruptures.

A côté de ces avantages dus à la diminution du diamètre, il en est d'autres qui tiennent de plus près à la nature même du métal. Les fils de fer, même lorsqu'ils

sont recouverts d'une protection galvanique, finissent par être attaqués par la rouille. Au bord de la mer et dans les régions industrielles, leur usure est extrêmement rapide. Le bronze se conserve, au contraire. Les armes de bronze des premiers âges, qui sont parvenues jusqu'à nous, en sont un témoignage.

A l'air, les lignes de bronze se couvrent d'une patine qui a le double avantage d'être isolante au point de vue électrique et de masquer l'éclat du métal qui pourrait tenter la cupidité des voleurs. Le métal se conserve donc pour ainsi dire indéfiniment et, s'il est mis hors de service, ce n'est pas parce qu'il tombe en poussière comme le fil de fer. Les débris conservent leur valeur intrinsèque et peuvent retourner au creuset sans déchet.

Vous ne serez pas surpris, Messieurs, qu'après avoir énuméré les propriétés diverses des lignes en bronze silicieux, je puisse ajouter qu'elles présentent une grande économie dans leur établissement et leur entretien. Les prix du fil de fer et du fil de bronze silicieux sont à coup sûr très différents. Mais ces prix sont à peu près en raison de la conductibilité, de sorte que l'unité de conductibilité coûte sensiblement le même prix par les deux systèmes. L'économie est alors constituée par les transports, le nombre des supports des poteaux, la durée des lignes, etc.

Je suis heureux, Messieurs, de pouvoir abriter les opinions que je viens de formuler derrière une autorité incontestable en matière de télégraphie.

Dans une conférence qu'il a faite le 4 décembre dernier à la Société des ingénieurs civils de Londres, sur

les conducteurs électriques, M. Preece s'exprimait en ces termes :

« Les propriétés de grande résistance mécanique du bronze phosphoreux sont bien connues, et il y a déjà cinq ans que ce métal est employé pour les fils télégraphiques. Le Post Office en a établi plusieurs lignes, entre autres celle qui reliait le phare de Mumble au promontoire de Swansea. Le but de cet essai était de voir si le nouveau fil possédait une résistance à la rupture suffisante et s'il ne serait pas corrodé par les émanations de l'eau salée. Cette ligne, installée en 1879, n'avait subi en 1883 aucune modification apparente.

« Mais le bronze phosphoreux, quoique très employé, possède une haute résistance électrique. En outre, le fil de ce métal n'a pas des dimensions régulières ; il est cassant, se plie et se noue difficilement. Un nouvel alliage, le bronze silicieux, a été imaginé récemment pour remédier à ces défauts, et il a remplacé le bronze phosphoreux pour la télégraphie. »

Ici M. Preece donne les chiffres relatifs à la conductibilité et à la résistance des fils de bronze silicieux, et il poursuit son étude par les considérations suivantes, qui s'appliquent surtout à un sujet très débattu à l'heure actuelle, l'établissement des lignes souterraines.

« La légèreté du bronze silicieux, continue M. Preece, sa résistance mécanique, sa haute conductibilité, son inoxydabilité le rendent éminemment propre au service de la télégraphie. Si les lignes aériennes étaient faites avec ce fil et placées avec ordre sur des supports élégants, ce serait la fin de cette croisade désagréable entreprise dans certains endroits pour obtenir leur suppression.

« Construites judicieusement et sous un contrôle sérieux, les lignes aériennes sont plus efficaces que les lignes souterraines. Elles résistent mieux qu'on ne pense au vent et à la neige, ne sont pas soumises aux perturbations électriques, peuvent être rendues silencieuses, et permettent aux poteaux existants de supporter un bien plus grand nombre de fils. Avec le bronze silicieux, les municipalités et les autorités locales ne pourraient plus exiger leur destruction et imposer aux administrateurs des dépenses inutiles et même nuisibles au point de vue du travail à produire. »

Je n'affaiblirai par aucun commentaire les déclarations de l'éminent ingénieur du *Post Office*.

L'administration française ne pouvait manquer d'expérimenter les fils de M. Weiller. Quelques lignes télégraphiques existent déjà dans les traverses de ville et dans des contrées où elles sont soumises à l'action persistante d'une atmosphère chargée de produits qui amènent la rapide détérioration du fer.

Un grand nombre de lignes sont posées à l'étranger.

Les fils téléphoniques se sont répandus avec une plus grande rapidité. Un grand nombre de réseaux de villes sont uniquement constitués avec des fils de bronze silicieux.

Ceux d'entre vous, Messieurs, qui ont visité la ville de Vienne, à l'occasion de l'Exposition d'électricité, ont pu constater que les rues en sont absolument sillonnées.

En France, après la Société générale des téléphones, qui les a employés toutes les fois qu'elle n'a pas eu la facilité de poser ses lignes en égout, l'État a constitué le réseau aérien de Reims, partie en fils d'acier de

2 millimètres, partie en fils silicieux de $1^{mm},10$. Au bout de peu de temps, on a constaté que sur le réseau de bronze tout était resté en parfait état. Sur le réseau d'acier, au contraire, de nombreuses déformations s'étaient manifestées : supports d'isolateurs ouverts, jumelles infléchies, poteaux tordus. La tourelle centrale s'était violemment déformée.

L'ingénieur chargé de la pose constatait que ces accidents tenaient au poids de la ligne d'acier, pour laquelle les supports étaient d'un type insuffisant. Il aurait fallu, d'après son rapport, les remplacer par des supports de plus grandes dimensions correspondant à une augmentation des 2/5 de la dépense initiale, ce qui correspond à une économie équivalente due à l'emploi du bronze.

Aussi le réseau d'acier a-t-il été remplacé.

C'est exclusivement avec des fils de bronze silicieux que sont aussi constitués les réseaux de Troyes et de Nancy, de Saint-Quentin et tous ceux qui ont été construits par l'État.

Une application nouvelle de l'électricité est appelée à trouver dans le bronze silicieux un utile auxiliaire.

Je fais allusion en ce moment au transport de la force par l'électricité. Dans la mémorable expérience de Grenoble, le conducteur était un fil de bronze silicieux, de $0^{m},002$ de diamètre.

Enfin l'emploi des fils de bronze silicieux s'imposera absolument dans certaines applications spéciales, dont la plus importante est certainement la télégraphie internationale.

L'emploi de l'appareil Baudot permet actuellement entre Paris et Bordeaux un échange de télégrammes

d'environ 250 dépêches à l'heure par un seul fil. On arriverait à un résultat semblable dans la transmission des dépêches à grande distance, de Paris aux grandes capitales de l'Europe, sous la seule condition de les relier par des lignes de conductibilité correspondante. Or, pour la plupart des cas, cette solution serait irréalisable avec le fer, car elle conduirait à se servir de véritables barres, tandis qu'elle devient possible et absolument pratique par l'emploi du bronze silicieux.

Ainsi, pour avoir de Paris à Vienne la même conductibilité que sur la ligne Paris-Bordeaux, où le fil employé a 5 millimètres, il faudrait un fil de fer de 8 millimètres de diamètre et un fil de bronze silicieux de $8^{mm},5$ seulement.

Il y a donc là un progrès évident rendu possible et dont les conséquences seront considérables, car, au point de vue de la transmission de la pensée, on aura produit le rapprochement de tous les grands centres de l'Europe.

L'utilité de ces fils pour la télégraphie militaire n'est pas moins évidente. Ici, c'est la question du transport du matériel qui joue le principal rôle, car tout le monde sait avec quel soin méticuleux sont calculés les poids et les volumes des innombrables objets qui constituent le bagage d'une armée en campagne.

Combien l'emploi du bronze silicieux n'allégera-t-il pas la partie de ce bagage qui forme le matériel télégraphique! Ce sera d'un seul coup une économie des trois quarts du poids total.

A un autre point de vue, le fil de bronze silicieux est appelé à rendre de grands services à la télégraphie de campagne et, pour la même raison, à la télégraphie sous-marine.

Il permettra, en effet, de substituer dans l'âme des câbles le cuivre, qui n'intervient en rien dans leur résistance mécanique totale, par un métal infiniment plus tenace, qui prendra sa part des efforts que le câble aura à supporter, ce qui se traduira immédiatement par une diminution dans le volume de la matière protectrice.

Vous le voyez, Messieurs, les services que les fils de bronze silicieux sont appelés à rendre sont nombreux et d'ordres très divers, et il n'est pas téméraire de prédire qu'ils occuperont un jour la première place dans le matériel destiné aux transmissions électriques, de quelque nature qu'elles soient.

CHRONIQUE.

Érection d'une statue à la mémoire de Jean-Baptiste Dumas, dans sa ville natale, à Alais (Gard).

Un comité de patronage vient de se constituer pour réunir les souscriptions destinées à l'érection d'une statue à la mémoire de J.-B. Dumas, l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

Ce comité, composé de savants, de littérateurs, d'hommes politiques, s'est réuni le 7 juin dernier et a nommé :

Président :

M. Pasteur, de l'Académie française et de l'Académie des sciences.

Vice-présidents :

MM. J. Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

F. de Lesseps, de l'Académie française et de l'Académie des sciences.

Cauvet, directeur de l'École centrale des arts et manufactures.

Et pour *secrétaire-trésorier*, M. E. Maindron.

Le comité ayant été constitué, M. Émile Pin, conseiller général du Gard, délégué de la Société scientifique et littéraire d'Alais, a donné lecture d'une communication dont les termes suivent :

« Messieurs,

« Quand la nouvelle de la mort de M. Jean Baptiste Dumas fut connue à Alais, spontanément tous ses compatriotes déclarèrent qu'une statue devait être élevée, sur une des places

de sa ville natale, au grand savant qui, par la force de sa volonté et la puissance de son génie, avait conquis depuis longtemps le premier rang dans le monde scientifique.

« La Société scientifique et littéraire d'Alais, dont M. Dumas était membre honoraire, a pensé qu'elle devait prendre l'initiative de cette œuvre généreuse et patriotique. Réduite à ses propres ressources, elle ne pouvait pas réussir. Mais elle a été convaincue qu'en faisant appel à la coopération de tous les hommes de science, des grands écrivains, des hommes de lettres, des grands industriels, qui avaient su apprécier depuis longtemps les éminentes qualités de notre illustre compatriote, de tous les représentants légaux du département du Gard, le succès était assuré.

C'est pour cela, Messieurs, que la Société m'a délégué auprès de vous.

Le comité de patronage sera par vous formé. Nous avons dû nous borner à indiquer quelques noms.

Le nom de M. Pasteur, l'illustre disciple de M. Dumas, qui rend tous les jours de si éminents services à l'humanité, nous était naturellement indiqué comme devant être le président du comité. Nous ne pouvions pas d'ailleurs oublier que le département du Gard doit à M. Pasteur un juste et éclatant témoignage de reconnaissance, pour ses admirables travaux sur la maladie des vers à soie.

« Notre sympathique compatriote, M. le colonel Perrier, a bien voulu nous aider de ses précieux conseils.

« Des hommes comme M. Dumas étant l'honneur et la gloire de l'humanité, il ne fallait pas se borner à un comité exclusivement français. Aussi, Messieurs, nous avons cru qu'il fallait rendre la souscription universelle en sollicitant le concours des savants du monde entier.

« Si, comme j'en ai la ferme assurance, le succès répond à notre espoir, nous serons heureux et fiers de recevoir dans notre vieille ville cévenole ceux de vous qui voudront bien honorer de leur présence la fête que nous célébrerons en l'honneur du plus illustre et du plus glorieux de nos compatriotes.

« Vous verrez un pays qui, pour le savant, le littérateur, l'artiste, offre un champ d'explorations intéressantes et va-



riées. Vous serez assurés d'y trouver une hospitalité, peut-être un peu simple, mais empreinte d'une franche et sincère cordialité. »

Les souscriptions sont reçues à Paris, au Palais de l'Institut de France.

M. Jamin secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

L'Académie des sciences a nommé, dans sa séance du 9 juin, M. Jamin secrétaire perpétuel pour la section des sciences physiques en remplacement de M. Dumas.

On sait que M. Jamin s'est particulièrement occupé d'électricité et de magnétisme et qu'il avait remplacé M. Dumas comme président de la première commission de la conférence internationale pour la détermination des unités électriques dans la dernière session qui a abouti à la fixation définitive de l'ohm.

En prenant place au bureau de l'Académie, dans la séance du 23 juin, M. Jamin a prononcé l'allocution suivante :

« Messieurs et chers confrères,

« Quand j'ai quitté le fauteuil de la présidence, je vous disais que l'honneur de l'avoir occupé resterait le plus grand de ma vie ; vous n'avez pas voulu que cette parole restât vraie et vous avez dépassé tous mes rêves, en me confiant une fonction encore plus élevée. Je viens vous en remercier, vous en remercier avec effusion. Mais il y a des successions douloureuses et pleines de dangers : celle de M. Dumas est du nombre. Sa grande prudence, qui savait éviter les conflits, sa bienveillance extrême qui s'étendait à tout le monde et par-dessus tout l'incomparable étendue d'un esprit qui savait aborder tous les sujets, avaient fait de M. Dumas l'homme nécessaire à l'Académie. Pendant bien longtemps elle sentira le vide que la mort vient de faire. Je n'ai pas la taille qu'il faudrait avoir pour le combler ; mais je suivrai religieusement l'exemple qu'a donné M. Dumas et la marche qu'il a imprimée à nos travaux ; je ferai tout ce que je pourrai, vous demandant

en retour de l'indulgence, de la bienveillance et de l'amitié. J'ai, d'ailleurs, auprès de moi un collègue qui ne me refusera pas ses conseils. Lorsqu'il fut promu à la haute situation qu'il occupe, M. Bertrand disait à M. Dumas combien il était glorieux et fier de siéger auprès d'un savant aussi célèbre ; qu'il me permette de m'approprier ces paroles pour les lui adresser à mon tour : moi aussi, je suis glorieux et fier de siéger auprès de M. Bertrand, et je lui garderai respectueusement la déférence qu'il a toujours témoignée à l'illustre Collègue que nous venons de perdre, comme aussi je promets à l'Académie tout mon temps, tous mes soins, toutes mes forces. »

Sur un électrodynamomètre à mercure.

Note de M. LIPPMANN.

Une petite chambre parallélipipédique, remplie de mercure est disposée au centre d'une bobine de fil de cuivre. Le courant électrique que l'on veut mesurer parcourt successivement le fil de cette bobine et la lamelle de mercure ; celle-ci communique d'ailleurs latéralement avec les deux branches d'un manomètre. Lorsque le courant électrique est établi, le manomètre dévie d'une manière permanente, en vertu de l'action électrodynamique exercée sur la lamelle de mercure par le reste du circuit.

Cet instrument jouit des propriétés d'un électrodynamomètre ordinaire ; il mesure le carré de l'intensité i du courant, et il permet de mesurer des courants alternatifs ; mais il possède, en outre, des propriétés qui peuvent rendre son usage avantageux dans certains cas. Toutes les pièces qui le constituent sont, comme on le voit, rigides et immobiles à l'exception du mercure ; ce mercure lui-même, dans les points où il subit la poussée électrodynamique, est dans une position invariable par rapport au reste du circuit. Il s'ensuit que la déviation du manomètre est rigoureusement proportionnelle au carré de i. En outre, grâce à la rigidité de ses parties, l'appareil, une fois construit, conserve une forme et par conséquent une sensibilité parfaitement constante. Uue fois gradué dans un labo-

ratoire, on peut s'en servir en tous lieux pour retrouver, sans nouvelles mesures, des intensités de courants déterminées : il équivaut à un étalon d'intensité.

On peut d'ailleurs construire l'électrodynamomètre à mercure de manière à en faire un instrument de mesure absolu.

En effet la pression p indiquée par le manomètre est reliée à l'intensité i par la formule

$$p = \frac{C}{\varepsilon} i^2, \qquad (1)$$

dans laquelle ε représente l'épaisseur de la lame de mercure ; C, l'intensité du champ magnétique produit au centre de la bobine par un courant d'intensité égal à 1, se déduit des dimensions de cette bobine. Une fois ces grandeurs connues, l'instrument se trouve gradué *a priori* par la formule (1) et il peut servir à graduer d'autres instruments par comparaison.

Dans l'appareil que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de l'Académie, le quotient $\frac{C'}{\varepsilon}$ est égal à 650; par conséquent, un courant égal à 1 C.G.S, ou à 10 ampères, produit une pression de 650 dynes, ou environ 650^{mgr} par centimètre carré. (La constante C va en croissant indéfiniment avec le nombre de tours du fil de cuivre. Dans le quotient $\frac{H}{\varepsilon}$, qui donne la sensibilité du galvanomètre à mercure le numérateur H.

(*Comptes rendus.*)

Sur les principaux résultats de l'expédition polaire finlandaise (1883-84).

Extrait d'une Note de M. Selim Lemström.

Les observations ont été faites trois fois par jour ; le 1er et le 15 de chaque mois toutes les cinq minutes; le 8 et le 22, de 8^h30^m, à 10^h30^m, à chaque demi-minute. A Sodankylà (67°24',6 latitude nord, 27°17',3 est de Greenwich), ces observations seront continuées jusqu'au 22 août 1884; à Kultala (68°29',5 latitude nord, 26°39'4 est), elles ont été commencées le 16 janvier 1884 et finies le 17 mars.

Le courant terrestre. — Ce phénomène avait été étudié de la mi-septembre 1882 jusqu'au 1er septembre 1883, en même temps que les variations magnétiques. Deux conducteurs en fil de cuivre, nord-sud et est-ouest, d'environ 5 kilomètres de longueur, aboutissant à des plaques de platine de 1 décimètre carré, enfouies à une profondeur de 1m,3, étaient installés avec isoloirs télégraphiques et dans chacun d'eux on avait interposé un galvanomètre sensible. De nouveaux fils de fer furent employés et les plaques placées à environ 2km,5 plus vers l'ouest et vers le sud. Les anciens conducteurs furent cependant gardés quelque temps pour des comparaisons.

A Kultala l'installation était à peu près la même; seulement les longueurs et les directions étaient un peu différentes et les plaques étaient placées dans l'eau de la rivière d'Ivalo et de ses affluents.

Avec un électromètre de Mascart, donnant dix-huit divisions pour un volt, et avec le galvanomètre, on a pu éliminer les forces perturbatrices provenant du contact de la polarisation.

1° Lorsque deux galvanomètres à peu près semblables furent introduits dans les deux conducteurs est-ouest, près de Sodankylà, situés l'un à 2km,5 plus à l'est que l'autre, les déviations dans les deux galvanomètres se montraient presque identiques.

La similitude des deux courbes montre que les variations proviennent du courant terrestre et que l'effet des causes perturbatrices est très faible.

2° Les variations, grandes et nombreuses, surtout dans le courant est-ouest se montraient, comme précédemment, assez rares à Kultala. Il semble en résulter que le pôle nord de la Terre est entouré d'une ceinture de courants terrestres.

3° Les variations magnétiques et celles du courant terrestre ont un rapport intime.

Courants électrique de l'air. — Dès le 12 octobre 1883, un appareil d'écoulement fut installé sur la montagne Kommattiwaara (130 mètres de haut), à 6 kilomètres de la station Sodankylà. L'appareil, qui occupait une surface de 304 mètres carrés, consistait en un fil de fer, garni à chaque demi-mètre, de pointes en laiton, et posé en spires rectangulaires à la dis-

tance de $1^m,5$. Le fil reposait sur des poteaux munis d'isoloirs à acide sulfurique (Mascart), attachés solidement à une construction en bois. Un fil isolé conduisait jusqu'au galvanomètre de la station.

A la station Kultala, quatre appareils étaient installés. Deux fils conduisaient à la station et de là à deux plaques de zinc immergées. Les appareils pouvaient être réunis, de différentes manières, avec le galvanomètre par un commutateur. La rivière d'Ivalo est située à environ 160 mètres au-dessus de la mer.

Les observations furent faites à Sodankylä et à Kultala avec des appareils identiques. On observait d'abord la déviation par le courant, puis on introduisait dans des directions opposées, un élément Leclanché, qui faisait connaître la force électromotrice en volts. A Sodankylä le courant observé était d'abord *négatif*, c'est-à-dire allant de la terre à l'atmosphère, mais il changea quelquefois de direction et resta toujours positif pendant que l'aurore boréale régnait. Des variations ayant même caractère étaient assez nombreuses et souvent assez brusques. Avec les appareils de Kultala, on fit de nombreuses expériences, qui conduisent aux résultats suivants :

1° Si deux appareils d'écoulement, à peu près semblables et à la même hauteur, sont réunis au galvanomètre, *ils ne donnent aucun courant.*

2° Deux appareils mis en communication et ayant une différence de hauteur de 10 mètres, donnent toujours un courant positif, c'est-à-dire de haut en bas, dont la force électromotrice varie considérablement, comme l'indiquent les nombres suivants exprimés en volt :

18 mars.	0,1171; 0,1714	20 mars.	0,1891; 0,3262; 0,2632; 0,2632
19 —	0,1161; 0,1400	21 —	0,0530; 0,0530.

3° Tout près de la terre se trouve une couche d'air où la densité électrique est plus grande qu'au-dessous. Avec deux petits appareils mobiles on constata, par des expériences assez pénibles, que le minimum de densité se trouve entre 3 mètres et 9 mètres de hauteur.

A partir d'une couche qui se trouve à quelques mètres au-dessus de la terre, la force électromotrice croît avec la différence de hauteur entre les appareils d'écoulement. Certaines

circonstances portent à croire que la force croît plus rapidement que la différence de hauteur.

(*Comptes rendus.*)

Sur une nouvelle pile à électrodes de charbon.

Note de MM. D. Tommasi et Radiguet.

Cette nouvelle pile se compose d'une cuvette rectangulaire en porcelaine, au fond de laquelle on trouve une plaque en charbon entourée d'une pâte de peroxyde de plomb, constituant l'une des électrodes de la pile. L'autre électrode est formée par une deuxième plaque en charbon, semblable à la première, mais contenant à sa partie supérieure des fragments de charbon de cornue platinés. Ces deux plaques sont placées l'une sur l'autre et séparées entre elles par une feuille de papier parcheminé, disposée de façon à partager la cuvette en deux compartiments parfaitement cloisonnés. Pour faire fonctionner la pile, on verse, dans les deux compartiments, une petite solution saturée de chlorure de sodium, de façon que, d'une part, le peroxyde de plomb ne soit pas trop délayé, et que, d'autre part, les fragments de charbon qui recouvrent l'électrode supérieure ne baignent qu'en partie seulement dans la solution saline.

Cette pile, qui ne travaille qu'en circuit fermé, produit une force électromotrice égale à $0^{volt},6$.

Le pôle négatif (zinc des piles ordinaires) est formé par la plaque de charbon qui ne touche pas le peroxyde de plomb. Si l'on substitue, à la solution de chlorure de sodium, d'autres solutions salines, telles que le sulfate d'ammoniaque, le sulfate de soude, le chlorhydrate d'ammoniaque, ou même l'acide sulfurique étendu, la force électromotrice ne varie pas d'une manière sensible.

(*Comptes rendus.*)



Établissement de résistances électriques.

M. S.-V. Thompson propose une méthode des plus précises et très rapide pour obtenir exactement des résistances électriques déterminées ou des étalons. On prend un fil de maillechort dont la résistance est supérieure d'environ 2 p. 100 à celle qu'on veut établir, et on le shunte au moyen d'un fil d'une résistance beaucoup plus grande et connue approximativement. Le fil est soudé à deux bornes de cuivre, puis on le double, on l'enroule et l'on mesure avec grand soin sa résistance. On calcule la résistance à employer comme shunt pour obtenir 1 ohm, par exemple. Il faudra employer en pratique de 10 ohms à 80 ohms que l'on formera au moyen d'un fil beaucoup plus fin.

Soit R la résistance que l'on veut obtenir et R' celle que l'on a formée tout d'abord. La résistance du shunt à employer sera

$$S = \frac{R R'}{R - R'}.$$

Si l'on veut construire une bobine d'une résistance supérieure à 10 ohms, on soude comme précédemment les extrémités du fil dont la résistance est voisine de celle qu'on veut obtenir; mais avant de l'enrouler, on soude à une certaine distance de l'extrémité ($\frac{1}{20}$ par exemple de sa longueur) une petite pièce de cuivre, et l'on mesure avec soin la résistance des deux tronçons ainsi formés. On shunte alors, comme précédemment, le plus petit seulement, de manière à obtenir en définitive la résistance voulue.

(*Journal de physique.*)

Embarcation mue par l'électricité.

Parmi les applications des accumulateurs électriques, l'une des plus séduisantes est assurément celle qui a été faite au service des yachts et des embarcations de faible tonnage : de nombreuses expériences ont eu lieu en Angleterre, notam-

ment à Londres, et en Autriche lors de l'Exposition de Vienne. Des personnes compétentes avaient cru qu'il serait possible de tirer parti des ressources que fournit l'électricité, et les essais se sont poursuivis assez longtemps pour qu'on puisse aujourd'hui bien apprécier les avantages et les inconvénients de ces appareils.

M. A.-F. Yarrow, dont on ne saurait contester la compétence en matière de constructions navales, a fait, à l'*Institution of Naval architects*, une communication où se trouvent exposées les conditions présentes de ce procédé de navigation électrique.

Personne n'ignore que l'emploi des accumulateurs occasionne une double perte par suite de la transformation, d'abord du travail mécanique. Si l'on part de la source de force motrice, il y a perte de 15 p. 100 du fait de la machine dynamo-électrique, puis de 10 p. 100 à la charge des accumulateurs et enfin de 25 p. 100 à la décharge, ce qui assignerait un rendement final de 57,5 p. 100 à la sortie des appareils. M. Yarrow, d'après sa propre expérience, estime de 45 à 50 p. 100 le rendement en travail utile. Sur l'embarcation armée pour les épreuves, on disposait de 81 accumulateurs logés dans la cale et sous les banquettes. Le moteur électrique, d'une force de 8 à 9 chevaux, n'avait pas à développer plus de 7 chevaux. Le poids total, de 4,500 kilogr., se décomposait en 2,000 kilogr. (poids de la coque), 2.000 kilogr. (poids des accumulateurs) et 500 kilogr. (poids de la machine, de l'hélice et de son arbre). L'embarcation avait 12 mètres de longueur et 1^{m},80 au bau.

Avec les accumulateurs, on pourrait, sans nuire à la stabilité, employer des formes plus allongées et diminuer la section du maître-couple de manière à réduire la résistance.

On a reconnu tout d'abord que, dans une marche prolongée, les accumulateurs s'affaiblissaient, d'où un ralentissement de vitesse qui, pour trois heures, était d'environ un demi-nœud par heure.

Il y avait donc lieu, pour maintenir la vitesse constante, d'embarquer une provision d'accumulateurs et d'introduire progressivement de nouveaux éléments dans le circuit. On pouvait alors exécuter des traversées de cinq à six heures.

Avec six personnes à bord et un déplacement de cinq tonnes, 71 accumulateurs, du poids de 45 kilogr. chacun, ont donné une vitesse de 6, 9 nœuds, le moteur marchant à 674 tours; l'hélice avait un diamètre de 60 centimètres et un pas de 325 millimètres; les résultats auraient été meilleurs à une allure moins rapide du moteur.

Si l'on compare l'électricité à la vapeur, on peut résumer ainsi les avantages et les inconvénients du nouveau procédé :

Avec les accumulateurs, on supprime le bruit et la malpropreté des machines ordinaires; toute la surface de l'embarcation est libre, notamment la partie centrale; on peut, à tout instant, mettre en marche. M. Yarrow estime que les appareils, une fois chargés, restent pendant une semaine en bon état, sans avoir perdu une fraction importante de l'énergie emmagasinée.

D'autre part, il faut reconnaître qu'une installation électrique est plus coûteuse, que son usage est aussi plus coûteux s'il faut une machine spéciale pour charger les accumulateurs, enfin que la nécessité de la charge fréquente entraîne des difficultés spéciales et des pertes de temps. La charge exigerait environ 25 p. 100 de plus de temps que la décharge : ainsi, dans le cas d'une traversée de six heures, il faudrait sept heures et demie pour préparer les éléments.

L'emploi de l'électricité à bord ne présente d'ailleurs aucun danger, car la tension n'atteindra jamais 200 volts, limite imposée, en Angleterre, par les règlements du *Board of trade.*

Il est probable qu'on parviendra à diminuer le prix des accumulateurs : c'est une simple question de concurrence commerciale. Si l'on dispose d'une force motrice à bon marché, une chute d'eau par exemple, la charge des éléments deviendra peu coûteuse : elle se fera la nuit et on utilisera l'embarcation dans la journée. La navigation électrique pourra compter alors de plus nombreuses applications. Il est pourtant un cas où elle semble déjà particulièrement recommandable, c'est pour le service des bateaux-torpilleurs dans les attaques de nuit : l'absence de bruit, de fumée, de feu qui pourraient trahir la marche, est un avantage assez sérieux pour justifier l'emploi des accumulateurs.

(*Revue industrielle.*)

Nécrologie.

M. L'ABBÉ MOIGNO.

M. l'abbé Moigno vient de mourir à Saint-Denis, le 13 juillet 1884, à l'âge de quatre-vingts ans. On sait la part importante qu'il a prise, pendant plus de quarante ans, au grand mouvement scientifique de notre siècle, tant par la publication du *Cosmos* et des *Mondes*, qu'il rédigeait presque seul chaque semaine, que par les nombreux ouvrages qu'il a fait paraître sur les sujets les plus divers. L'électricité avait surtout pour lui un vif attrait; il est un des premiers qui ait publié un traité complet de télégraphie électrique, qui est encore souvent consulté. Les dernières années de l'abbé Moigno ont été consacrées à la publication de son grand ouvrage, les *Splendeurs de la foi,* dont cinq volumes ont déjà paru, et dont il espérait publier prochainement un sixième volume.

M. MEYER (Bernard).

M. Meyer, contrôleur des télégraphes, qui vient de mourir (le 25 juillet) à Nancy, où il s'était retiré depuis quelque temps, après avoir obtenu sa mise à la retraite, était bien connu par les appareils télégraphiques qu'il a inventés, appareil autographique et appareil multiple.

Dans son appareil autographique, il a réussi à obtenir la reproduction des dépêches à l'encre ordinaire, sans avoir besoin de recourir aux procédés électro-chimiques adoptés avant lui par l'abbé Caselli. Son appareil multiple, le premier de ce genre qui ait fonctionné, est encore employé sur quelques lignes, tant en France qu'à l'étranger ; il repose sur le principe de la division du temps, dont M. Rouvier avait eu l'idée première, sans arriver à un résultat pratique. On sait que l'appareil Meyer comprend un axe unique correspondant à plusieurs récepteurs distincts qui sont mis successivement en relation avec la ligne par un distributeur, et reçoivent chacun à leur tour les courants transmis.

Dans ces dernières années, M. Meyer a réussi à rendre les recepteurs de ses appareils indépendants, ce qui permet de desservir plusieurs bureaux distincts par un même conducteur; mais il convient d'observer que cette idée avait déjà été mise en avant, et même réalisée, par M. Grandfeld, contrôleur des télégraphes autrichiens. Quoi qu'il en soit, le nom de Meyer restera attaché au principe de la transmission multiple, qui a fait dans ces dernières années un grand pas par l'invention de l'appareil de M. Baudot.

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1884 **Juillet-Août**

ÉTUDE SUR LA TÉLÉPHONIE

(Suite.

INSTALLATION D'UN POSTE CENTRAL TÉLÉPHONIQUE.

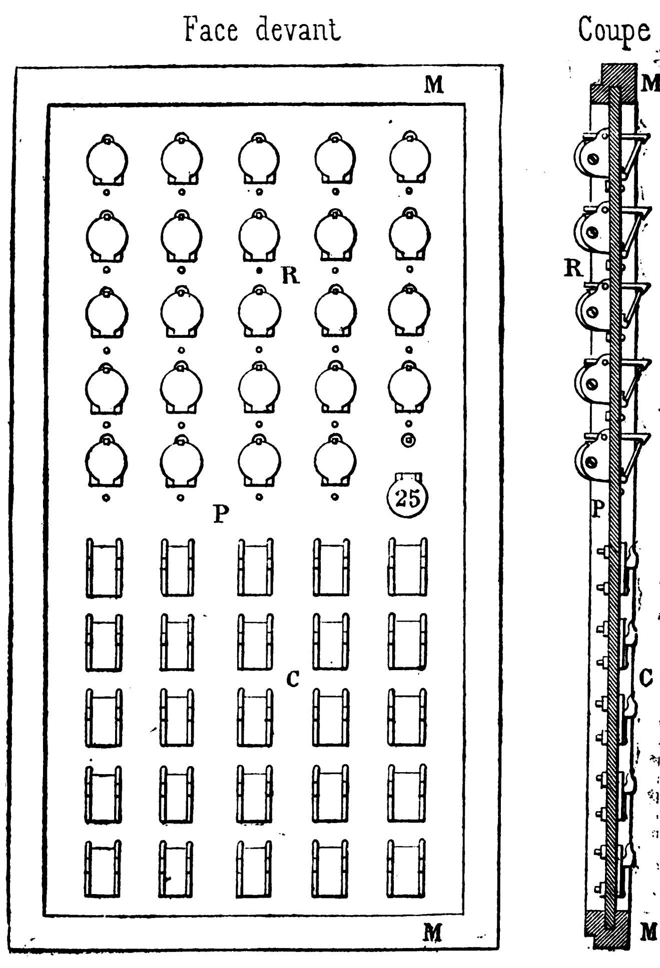
On appelle poste central téléphonique un bureau dans lequel aboutissent tout ou partie des lignes d'un réseau téléphonique, et où sont installés les appareils nécessaires pour recevoir et reconnaître les appels faits sur toutes ces lignes, y répondre, relier deux à deux entre eux les abonnés sur leur demande et rompre ces communications dès qu'elles ne sont plus utiles.

Dans les grands centres où le nombre des abonnés est très considérable, comme Paris, Londres, New-York, etc., les réseaux téléphoniques sont divisés en un certain nombre de circonscriptions vers le centre de chacune desquelles est installé un poste central auquel sont reliés tous les abonnés de la circonscription et tous les autres postes centraux.

De cette façon, la communication entre deux abonnés

d'une même circonscription est établie par l'intermédiaire du poste central de cette circonscription, et la communi-

Fig. 65.



cation entre deux abonnés de deux circonscriptions différentes est établie par l'intermédiaire et avec le concours

des deux postes centraux des circonscriptions dans lesquelles se trouvent les deux abonnés.

Mais dans la plupart des villes un seul poste central est suffisant pour le service de tous les abonnés du réseau.

Tous les organes que nous avons vus dans la description des postes téléphoniques à plusieurs directions répondent entièrement aux exigences du service dans un poste central urbain. L'installation de celui-ci ne diffère guère de celle des premiers que par le nombre et le groupement des appareils, qui consistent en relais indicateurs d'appel, commutateurs à crochets, conjoncteurs, cordons souples avec une ou deux clefs de commutateur, bobines d'induction et clés d'appel.

Les relais indicateurs d'appel et les commutateurs à crochets sont montés sur des tableaux semblables à celui qui est représenté de face et en coupe (fig. 65). Ils sont formés d'un panneau P enchâssé dans un cadre ou châssis M.

En R sont disposés les relais indicateurs au nombre de 25, sur 5 rangs de 5 chacun.

Les commutateurs à crochets sont disposés en C dans le même ordre que les indicateurs auxquels ils correspondent.

La figure 66 représente un poste central téléphonique pour 200 abonnés.

Le long d'un des murs du bureau, et à une distance d'au moins 80 centimètres de celui-ci, est dressée une cloison en bois O, O, O, sur laquelle sont fixés tous les organes du poste, à l'exception des téléphones.

Des ouvertures de dimensions convenables sont pratiquées dans cette cloison pour recevoir les tableaux R, R, etc., de 25 indicateurs et 25 commutateurs chacun.

De chaque côté de tous les tableaux sont fixés, par

derrière la cloison, une bobine d'induction B ; par devant,

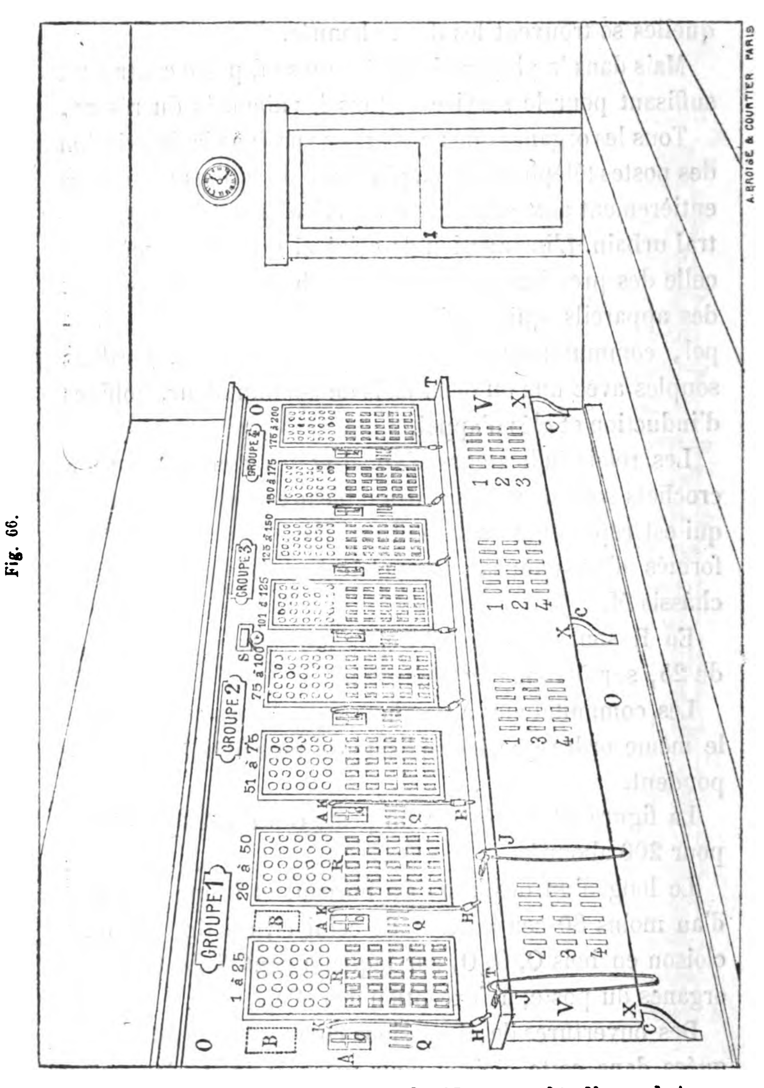


Fig. 66.

un cordon souple K avec sa clé H, une clé d'appel A et un commutateur à quatre crochets Q.

Pour rendre le service plus facile, on divise les tableaux annonciateurs par groupe de deux chacun. Le groupe 1 comprend tous les indicateurs du numéro 1 au numéro 50; le groupe 2, du numéro 51 au numéro 100; le groupe 3, du numéro 101 à 150; le groupe 4, du numéro 151 au numéro 200.

Une sonnerie S, placée au milieu de la cloison O et au-dessus des tableaux, avertit de la chute des disques des relais indicateurs.

Sur une tablette TT on pose, comme on le voit en JJ, les cordons souples à 2 clés, qui servent à établir les communications entre les abonnés.

Au-dessous de la tablette TT, un volet VV, attaché avec des charnières en X, X, X sur les consoles C, C, C, porte des commutateurs à un crochet appelés conjoncteurs qui servent pour établir les communications entre deux abonnés dont les lignes aboutissent sur deux tableaux éloignés l'un de l'autre.

Pour cela, en face le milieu de chaque groupe de deux tableaux sont disposés autant de rangées de 6 conjoncteurs qu'il y a, dans le poste, de groupes de deux tableaux, moins un.

Les 6 conjoncteurs d'une rangée d'un groupe sont reliés aux 6 conjoncteurs d'une rangée d'un autre groupe, un par un, le premier d'une rangée avec le premier de l'autre, le deuxième avec le deuxième, etc.

Le chiffre placé devant chaque rangée de conjoncteurs indique le numéro du groupe auquel cette rangée correspond.

Ainsi, la première rangée du groupe 1 correspond au groupe 2, première rangée. La troisième rangée du groupe 2 correspond au groupe 4, deuxième rangée, etc.

On voit par là que chaque groupe peut utiliser simul-

tanément six communications directes avec chacun des autres groupes du poste.

Pour éviter, par suite de la manœuvre des appareils, toute espèce de dérangement dans les fils des communications, aucun de ceux-ci n'est apparent extérieurement.

Les fils qui relient les conjoncteurs sont placés derrière le volet VV. Les fils des lignes, les fils des piles et tous ceux qui relient les divers organes des tableaux annonciateurs et leurs accessoires, sont placés derrière la cloison OOO.

L'espace libre entre la cloison et le mur a pour but de donner passage aux agents chargés de la vérification et de l'entretien des fils et des appareils.

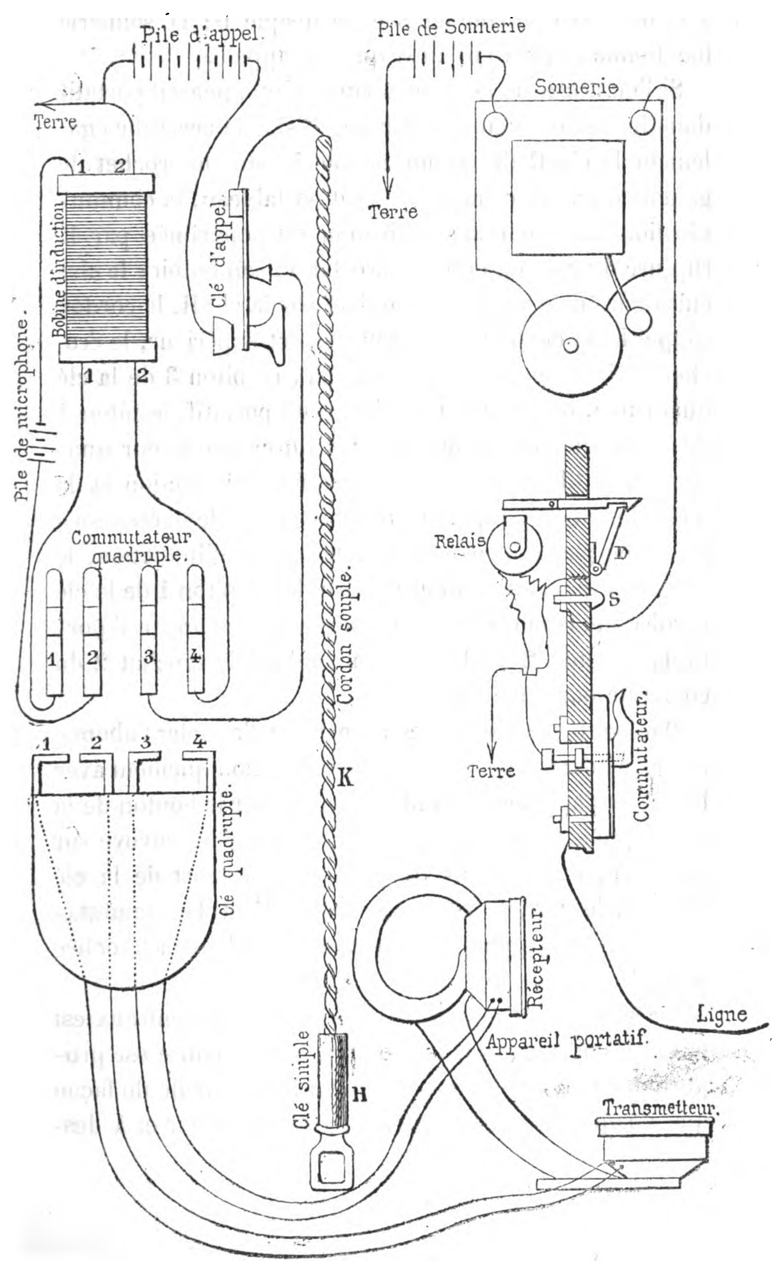
Les piles sont ordinairement installées dans une pièce voisine du bureau. Elles sont ainsi réparties : Une seule pile d'appel de 8 à 10 éléments reliée à toutes les clés d'appel. Une pile de 5 à 6 éléments pour la sonnerie. Enfin, autant de piles de microphone qu'il y a de commutateurs à quatre crochets.

Les appareils téléphoniques utilisés pour le service des postes centraux sont les appareils portatifs avec clé quadruple dont nous connaissons la description et l'usage.

La figure 67 est un schéma représentant, pour chaque tableau, les communications de tous les organes et des accessoires.

Nous voyons que chaque ligne est reliée à un commutateur d'un des tableaux et, par le crochet de gauche de ce dernier et sa vis butoir, elle communique à l'électro-aimant du relais indicateur correspondant. Donc, quand un abonné appelle, le courant qu'il envoie sur la ligne passe par le commutateur et le relais correspondant d'où il se perd à la terre; l'armature du relais est attirée et le disque D tombe sur le contact S; le courant de la

Fig. 67.


Pile d'appel.
Pile de Sonnerie
Terre
Sonnerie
Terre
1 2
Bobine d'induction
Clé d'appel
Pile de microphone.
1 2
Commutateur quadruple.
1 2 3 4
Cordon souple.
Relais
D
S
Terre
Commutateur.
1 2 3 4
K
Clé quadruple.
Récepteur
Ligne
Appareil portatif.
Clé simple
H
Transmetteur.

pile de sonnerie, passant dans la sonnerie, va se perdre à la terre par le contact S et le disque D; la sonnerie fonctionne et prévient ainsi qu'on a appelé.

Si l'on accroche la clé quadruple d'un appareil portatif dans le commutateur quadruple, et si l'on accroche également la clé H du cordon souple K dans le crochet de gauche d'un des commutateurs d'un tableau, la communication avec le relais indicateur est supprimée par la rupture du contact entre ce crochet et son butoir; le circuit de la ligne est alors complété par la clé H, le cordon souple K, la clé d'appel et son contact supérieur, le crochet 3 du commutateur quadruple, le piton 3 de la clé quadruple, le récepteur de l'appareil portatif, le piton 4 de la clé quadruple, le crochet 4 du commutateur quadruple, le fil secondaire de la bobine d'induction et la terre. En même temps, le circuit de la pile de microphone est fermé par le fil primaire de la bobine d'induction, le crochet 1 du commutateur quadruple, le piton 1 de la clé quadruple, le microphone transmetteur de l'appareil portatif, le piton 2 de la clé quadruple et le crochet 2 du commutateur quadruple.

Dans cette position, on est en mesure d'appeler l'abonné correspondant et de communiquer téléphoniquement avec lui. Pour l'appeler, il suffit d'appuyer sur le bouton de la clé d'appel. Le courant de cette pile est alors envoyé sur la ligne par le contact inférieur et le ressort de la clé d'appel, le cordon souple K, la clé H et le commutateur dans le crochet de gauche duquel est accrochée la clé H.

Le service des appareils dans les postes centraux est fait ordinairement par des dames. Leur nombre est proportionnel au nombre des abonnés; il est calculé de façon que chaque téléphoniste n'ait pas à surveiller et à des-

servir plus d'un groupe de deux tableaux annonciateurs. Chaque téléphoniste doit être pourvue d'un appareil portatif avec sa clé quadruple, et munie d'une ceinture à deux crochets sur lesquels elle suspend, au repos, l'appareil portatif et sa clé.

Afin que les téléphonistes aient sous les yeux tous les renseignements de nature à accélérer leur travail, on place au-dessus de chaque commutateur des tableaux une étiquette indiquant le nom et l'adresse de l'abonné, ainsi que le numéro de l'annonciateur correspondant.

Il reste à expliquer la manœuvre qu'exige la mise en communication de deux abonnés.

Dès qu'un abonné appelle, on en est prévenu au poste central par la chute du disque du relais correspondant.

La téléphoniste chargée de la surveillance du groupe auquel appartient le relais déclanché, prend à sa ceinture son appareil portatif en le saisissant de la main gauche et la clé quadruple de la main droite.

Elle accroche la clé quadruple au commutateur à quatre crochets placé immédiatement à gauche du tableau sur lequel elle doit opérer ; accroche la clef H du cordon fixe K qui se trouve devant elle dans le crochet de gauche du commutateur correspondant au relais sur lequel l'appel a été reçu ; relève le disque ; prend, toujours de la main droite, les deux clés d'un cordon libre J qui doit lui servir pour donner une communication directe ; appuie sur la clé d'appel pour répondre à l'abonné et communique oralement avec lui en tenant de la main gauche le récepteur de son appareil à l'oreille, le transmetteur en face de la bouche.

Dès que l'abonné a désigné le correspondant avec qui il désire communiquer, plusieurs cas se présentent :

1° Le correspondant demandé a son annonciateur sur le même tableau.

La téléphoniste enlève la clé du cordon fixe du crochet de gauche du commutateur du premier abonné; accroche l'une des clés du cordon mobile dans le crochet de droite du même commutateur pour laisser le relais indicateur en dérivation; accroche la clé du cordon fixe dans le crochet de gauche du commutateur correspondant au deuxième abonné et l'appelle en appuyant sur le bouton de la clé d'appel. Dès qu'il a répondu, la téléphoniste lui dit : « Communiquez avec M*** » ; puis elle enlève aussitôt du crochet de gauche du commutateur la clé du cordon fixe qu'elle abandonne et lui substitue, dans le même crochet, la seconde clé du cordon mobile. Les deux abonnés sont alors en communication directe, le relais indicateur du premier restant en dérivation sur le circuit de la ligne de façon à recevoir le signal de la fin de la conversation, comme nous l'avons vu dans la manœuvre des postes téléphoniques à plusieurs directions. La téléphoniste décroche ensuite la clé quadruple qu'elle suspend à sa ceinture, ainsi que l'appareil portatif.

2° Le correspondant demandé a son annonciateur sur tableau voisin.

La téléphoniste enlève, du crochet de gauche du commutateur du premier abonné, la clé du cordon fixe qu'elle abandonne; accroche l'une des clés du cordon mobile dans le crochet de droite du même commutateur pour laisser le relais-indicateur en dérivation; et, tout en gardant dans la main droite la seconde clé du cordon mobile, elle décroche la clé quadruple du commutateur à quatre crochets et va l'accrocher à celui qui se trouve immédiatement à gauche du tableau auquel correspond le deuxième abonné; accroche, dans le crochet de gauche

du commutateur correspondant à l'abonné, la clé du cordon fixe qui est devant elle; puis elle fait un contact avec la clé d'appel. Dès que l'abonné a répondu elle lui dit de communiquer avec le premier abonné. Elle enlève aussitôt du crochet de gauche du commutateur la clé du cordon fixe qu'elle abandonne et lui substitue, dans le même crochet, la seconde clé du cordon mobile.

3° Le correspondant demandé a son annonciateur sur un tableau éloigné.

Pour rendre plus intelligible la démonstration, supposons que le relais-indicateur ou annonciateur du premier abonné soit placé sur un des tableaux du groupe 2 et que celui du deuxième abonné soit sur un des tableaux de groupe 4.

La téléphoniste enlève, du crochet de gauche du commutateur du premier abonné, la clé du cordon fixe qu'elle abandonne; accroche l'une des clés du cordon mobile dans le crochet de droite de ce même commutateur pour laisser le relais-indicateur en dérivation; elle accroche ensuite la seconde clé du cordon mobile dans le premier conjoncteur, en commençant par la gauche, de la troisième rangée qui correspond au premier conjoncteur de gauche de la deuxième rangée du groupe 4. Elle saisit aussitôt de la main droite les deux clés d'un autre cordon mobile; décroche la clé quadruple et va l'accrocher au groupe 4 au commutateur à quatre crochets immédiatement à gauche du tableau auquel correspond le deuxième abonné; elle accroche ensuite l'une des clés du cordon mobile dans le premier conjoncteur de gauche de la deuxième rangée; prend la clé du cordon fixe qui se trouve devant elle et l'accroche dans le crochet de gauche du commutateur du deuxième abonné; puis elle appelle comme il a été expliqué plus haut. Dès que l'abonné a

répondu, elle l'invite à communiquer avec le premier; puis elle décroche la clé du cordon fixe qu'elle abandonne et lui substitue, dans le crochet de gauche du commutateur, la seconde clé du cordon mobile. A ce moment les deux abonnés sont reliés directement, l'indicateur du premier étant en dérivation sur le circuit de la ligne pour recevoir le signal de la fin de la conversation. La téléphoniste décroche ensuite la clé quadruple qu'elle suspend à sa ceinture ainsi que l'appareil portatif.

Lorsque les abonnés ont terminé leur conversation, ils appuient sur leur clé d'appel et envoient ainsi leur courant qui fait tomber le disque de l'annonciateur resté en dérivation. A ce signal, la téléphoniste relève le disque de l'annonciateur et décroche, des commutateurs et conjoncteurs, les clés des cordons souples qu'elle remet sur la tablette.

Il ressort de ce qui précède, que l'établissement de la communication directe entre deux abonnés dont les lignes arrivent au même tableau ou à des tableaux voisins est assez simple, puisqu'il s'agit de relier, par un seul cordon, les deux commutateurs correspondants en laissant un des relais-indicateurs en dérivation.

L'établissement de la communication directe entre deux abonnés dont les lignes aboutissent à deux tableaux non voisins d'un groupe différent est un peu plus compliqué, puisqu'il doit se faire par l'intermédiaire des conjoncteurs au moyen de deux cordons. Il est nécessaire d'ajouter, au sujet de cette manœuvre, quelques explications complémentaires indispensables relativement à deux cas qui se présentent assez fréquemment dans la pratique.

Nous avons vu que, pour relier un abonné du groupe 2 à un abonné du groupe 4, on a utilisé le premier con-

joncteur par la gauche de la troisième rangée du groupe 2 et de la deuxième rangée du groupe 4.

Si un autre abonné du groupe 2 demande communication avec un autre abonné du groupe 4 au moment où la communication est établie entre les deux premiers abonnés, la téléphoniste doit utiliser, pour donner cette deuxième communication, le premier conjoncteur disponible en commençant par la gauche, c'est-à-dire le deuxième par la gauche de la troisième rangée du groupe 2 et de la deuxième rangée du groupe 4. Et ainsi de suite si on demandait une autre communication du groupe 2 au groupe 4.

Il peut arriver aussi que, juste au moment où un abonné du groupe 2 demande un abonné du groupe 4, un autre abonné du groupe 4 demande un abonné du groupe 2. Si les téléphonistes, à qui les communications sont demandées simultanément, prenaient toutes deux le premier conjoncteur disponible en commençant par la gauche elles établiraient une fausse communication puisqu'elles relieraient entre eux deux abonnés qui ne désirent pas communiquer ensemble. Pour obvier à cet inconvénient, la téléphoniste qui établit la communication du groupe 2 au groupe 4, doit prendre le premier conjoncteur disponible en commençant par la gauche dans la rangée correspondante des deux groupes ; tandis que la télephoniste qui établit la communication du groupe 4 au groupe 2 doit prendre, dans la rangée correspondante des deux groupes, le premier conjoncteur disponible en commençant par la droite.

En résumé, le moyen d'éviter toute chance de fausse communication en reliant deux abonnés d'un groupe différent, peut se formuler par la convention suivante :

1° Quant un abonné, dont l'annonciateur appartient à

un groupe d'un numéro moins élevé, demande à communiquer avec un abonné dont l'annonciateur appartient à un groupe d'un numéro plus élevé, la téléphoniste qui établit la communication doit prendre, dans la rangée correspondante des deux groupes, le premier conjoncteur disponible en commençant par la gauche.

2° Quand un abonné, dont l'annonciateur appartient à un groupe d'un numéro plus élevé, demande à communiquer avec un abonné dont l'annonciateur appartient à un groupe d'un numéro moins élevé, la téléphoniste qui établit la communication doit prendre, dans la rangée correspondante des deux groupes, le premier conjoncteur disponible en commençant par la droite.

Les dispositions représentées par les figures 65, 66, et 67, ainsi que la description qui précède sont celles d'un poste central pour lignes simples. L'installation d'un poste central pour lignes doubles se fait suivant des dispositions analogues; elle n'en diffère que dans les détails suivants qui, sauf en ce qui concerne les conjoncteurs, ont déjà été indiqués dans la description des postes à plusieurs directions pour lignes doubles.

Les commutateurs des tableaux sont à trois crochets dont on connaît les communications avec les fils de ligne et les annonciateurs correspondants.

Les clés des commutateurs sont à deux pitons et les cordons souples, à deux conducteurs.

Les conjoncteurs sont formés de deux crochets chacun et sont reliés, deux à deux entre les divers groupes, dans l'ordre qui a été indiqué dans la précédente description.

On relie entre eux les divers accessoires des tableaux annonciateurs, comme l'indique la figure 67, en remplaçant par des fils de retour les communications avec la terre.

La manœuvre d'un poste central à lignes doubles s'exécute suivant les mêmes principes que celle d'un poste central à lignes simples, avec cette différence, déjà expliquée, que les clés des commutateurs s'accrochent dans deux crochets à la fois.

(*A suivre.*)

SIEUR.

RAPPORT DE M. AD. CARNOT

SUR LA

TREMPE DE L'ACIER PAR COMPRESSION

DE M. CLÉMANDOT (*)

Messieurs, nous avons à vous rendre compte des résultats obtenus par une méthode nouvelle d'élaboration de l'acier, inventée par M. Clémandot. Cette méthode consiste à chauffer le métal, de manière à lui faire acquérir une ductilité suffisante, puis à le soumettre pendant le refroidissement à une pression très énergique. M. Clémandot a remarqué que la structure du métal était modifiée par cette opération, et qu'il pouvait acquérir ainsi des propriétés analogues à celles qui se développent par la trempe. Aussi a-t-il désigné son procédé sous le nom de *trempe par compression.*

L'emploi d'une forte pression dans le travail de l'acier a déjà été essayé, il y a quelques années, en Angleterre, par M. Whitworth, mais dans un autre but et dans des conditions bien différentes. On se proposait

(*) Le procédé de trempe de l'acier de M. Clémandot permet d'obtenir des aimants permanents qui conservent leur magnétisme pendant de longues années. Ces aimants peuvent donc être employés avec avantage en télégraphie dans un grand nombre de cas, par exemple, pour former les aiguilles des galvanomètres, les noyaux aimantés des téléphones, les aimants dont on se sert dans un assez grand nombre de récepteurs, etc. C'est pour cette raison que nous reproduisons le rapport présenté à la société d'encouragement par M. A. Carnot.

d'éviter les soufflures, qui se produisent par suite du développement de bulles gazeuses pendant la solidification de l'acier fondu, et, à cet effet, on soumettait le métal à une pression énergique dans le moule enduit de pisé réfractaire où il venait d'être coulé et où il se refroidissait lentement. De semblables essais ont été renouvelés en France, mais toujours suivant le même principe, c'est-à-dire en opérant sur l'acier encore en fusion (*).

M. Clémandot, au contraire, prend l'acier déjà fabriqué, soit coulé en lingots, soit martelé ou laminé; il le réchauffe seulement à la température du rouge cerise et le soumet à l'action de la presse hydraulique, qu'il pousse jusqu'à 1.000, 2.000 et même 3.000 kilogrammes de pression par centimètre carré. Il laisse refroidir l'acier entre les deux plateaux de la presse et il le retire ayant acquis ses qualités nouvelles, sans avoir besoin de le soumettre à aucun recuit, ni à aucune autre opération supplémentaire.

Le métal qu'il obtient ainsi diffère très sensiblement de l'acier naturel (en désignant par ce mot l'acier qui s'est refroidi lentement et sans compression) par une finesse de grain beaucoup plus grande, par une dureté et une résistance à la rupture bien plus considérables, du moins lorsqu'il s'agit de certaines qualités d'acier assez fortement carburés. Il se rapproche un peu, sous ces divers rapports, de l'acier trempé par immersion dans l'eau, sans lui être cependant identique.

Il nous semble que cette méthode de travail de l'acier mériterait d'être soumise à des essais pratiques

(*) Voir une note de M. Lan (*Comptes rendus de l'Académie*, 3 avril 1882) et plusieurs articles de M. F. Gautier (*Génie civil*, t. II, n° 17; t. IV, n° 14).

dans l'industrie. Mais il n'est peut-être pas inutile qu'un peu de théorie intervienne, pour servir de guide aux expérimentations. Aussi allons-nous essayer de nous rendre compte des phénomènes qui peuvent se produire dans les conditions où se place M. Clémandot.

Nous y voyons deux effets physiques très différents et presque simultanés :

1° Une compression énergique et continue,

2° Un refroidissement rapide de l'acier.

La compression doit être accompagnée d'une surélévation de la température du métal, par suite de la conversion du travail mécanique en chaleur, conformément aux lois de la thermo-dynamique; mais elle doit aussi produire un rapprochement des particules d'acier, encore assez chaudes pour se souder les unes aux autres.

Le refroidissement est causé par le contact des plateaux de la presse hydraulique ou par celui des plaques métalliques interposées entre la pièce d'acier et les plateaux. Il se fait ici avec une vitesse incomparablement plus grande que lorsque la même pièce est abandonnée à elle-même sans compression, et cela s'explique aisément par un simple effet de conductibilité; car la compression du métal encore malléable rend beaucoup plus intime son contact avec les masses conductrices, qui agissent alors comme réfrigérants énergiques.

Il nous semble que les résultats remarquables obtenus par M. Clémandot trouvent leur explication dans la combinaison de ces deux effets physiques simultanés et en quelque sorte opposés : la compression et le refroidissement.

Le premier a, par ses résultats, quelque analogie

avec l'écrouissage par les marteaux ou les laminoirs ; le second, quelque ressemblance avec la trempe par immersion.

On nous permettra d'insister un peu sur ces divers procédés de travail, afin de mieux saisir les rapports et les différences avec le procédé nouveau.

Écrouissage. — Lorsque l'acier, ramolli par le réchauffage au rouge, est abandonné à un refroidissement lent, ses molécules tendent à s'isoler les unes des autres ; il prend alors une structure grenue ou cristalline. Il arrive souvent alors qu'une partie de carbone, primitivement dissous à haute température dans l'acier, se sépare à l'état de graphite, qui forme un résidu noir insoluble lorsqu'on traite le métal par l'acide chlorhydrique concentré.

Les opérations mécaniques exécutées sur le métal encore très chaud, telles que le cinglage, le martelage, le laminage, contrarient quelque peu cette tendance à la cristallisation et donnent au métal plus de cohésion et d'homogénéité. On a remarqué aussi qu'elles diminuaient la proportion de carbone à l'état graphitoïde (*).

Mais le choc des marteaux ou la pression des cylindres est de courte durée, et lorsque le métal est laissé à lui-même, il reprend une texture cristalline, ne différant pas beaucoup de celle qu'il aurait eue si son refroidissement n'avait pas été troublé.

La presse hydraulique doit agir tout autrement. La compression qu'elle produit est moindre sans doute que celle qu'on peut obtenir par le choc de lourds marteaux; mais elle se continue pendant toute la durée du refroidissement. Les particules métalliques,

(*) Caron, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1863, t. LVI, p. 45.

rapprochées les unes des autres par cette compression, peuvent donc éprouver une sorte de soudage définitif, qui doit avoir pour effet d'augmenter la résistance et l'élasticité du métal.

Trempe. — La trempe paraît aussi agir en mettant obstacle à la cristallisation de l'acier. Elle se pratique en chauffant le métal à une température voisine du rouge et le plongeant brusquement dans un bain liquide à température relativement basse. On emploie quelquefois le mercure pour avoir une trempe très dure, quelquefois l'huile pour une trempe douce, le plus souvent l'eau seule ou mêlée de substances diverses. Le principe commun de ces divers modes de trempe consiste toujours dans un très rapide refroidissement du métal, d'où résultent des modifications importantes dans sa nature *chimique* et dans son état *physique*.

Les *effets chimiques* de la trempe ne sont pas encore très bien connus. Cependant diverses expériences ont conduit à admettre que la quantité de carbone combiné ou plutôt à l'état de dissolution, comme l'ont démontré MM. Troost et Hautefeuille (*), est plus grande dans les aciers trempés que dans les mêmes aciers avant la trempe, tandis que ceux-ci renferment une plus forte proportion de carbone isolé sous forme de graphite. On est donc en droit de supposer, avec le colonel Caron (**), que la trempe produit l'union du carbone et du fer, ou mieux, comme l'a indiqué M. Grüner (***), qu'elle empêche la séparation des deux substances déjà unies.

(*) *Comptes rendus*, 1882, t. XCIV, p. 789.
(**) *Comptes rendus*, 1863, t. LVI, p. 211.
(***) *Annales des mines*, 1867, 6e série, t. XII, p. 225.

Nous ne croyons pas devoir entrer ici plus avant dans les hypothèses faites ou à faire sur la constitution chimique de l'acier.

Quant aux *effets physiques* de la trempe, dont il nous semble qu'on ne tient pas, en général, un compte suffisant, ils peuvent se déduire de considérations sur le mode de refroidissement de l'acier.

La couche superficielle, brusquement saisie par le contact du liquide, doit diminuer subitement de volume et presser fortement sur les parties intérieures, encore chaudes et malléables, de manière à rapprocher et peut-être même à souder ensemble les molécules du métal. Cette compression subite a été comparée par le colonel Caron à l'effet produit par un frettage énergique ou par le choc du marteau sur le métal porté au rouge (*).

Mais l'analogie avec le martelage ou le frettage cesse bien vite d'être vraie, du moins lorsqu'il s'agit d'une pièce d'acier un peu volumineuse, dont le refroidissement n'est pas instantané; car les parties intérieures, qui, au moment du durcissement de l'enveloppe, étaient encore très fortement dilatées par la chaleur, tendent à se contracter en se refroidissant, et cependant l'enveloppe devenue rigide ne peut les suivre dans leur retrait. Il doit donc en résulter une très forte distention entre les différentes zones concentriques de la pièce d'acier.

Aussi concevons-nous l'état d'équilibre intérieur dans un cylindre d'acier trempé comme précisément inverse de celui que produirait un frettage posé à chaud. Tandis que, dans une pièce frettée, la partie

(*) *Comptes rendus*, 1863, t. LVI, p. 214.

centrale doit être comprimée et le métal de la frette distendu, dans l'acier trempé, au contraire, la partie centrale nous paraît devoir être fortement distendue, puisque la résistance de la couche extérieure, brusquement solidifiée, l'a maintenue à un volume plus grand que celui auquel elle se serait naturellement réduite par un refroidissement graduel. La couche superficielle doit être dans un état de tension opposé, puisqu'elle résiste à l'effet de contraction des couches internes.

Nous ne connaissons pas d'expérience concluante sur le sens de la tension moléculaire dans l'acier trempé ; mais il nous semble que les présomptions précédentes trouvent leur confirmation dans le changement de densité du métal. Le colonel Caron avait déjà signalé ce fait, que la densité de l'acier est diminuée par la trempe ; nous avons eu nous-même occasion de le vérifier dans des expériences que nous rapporterons plus loin. Cette diminution de densité indique bien une distension anormale des molécules dans l'acier trempé.

Nous pourrions aussi invoquer dans le même sens les très intéressantes expériences faites, il y a quelques années, par MM. de Luynes et Feil (*) et par M. Alfred Leger (**), sur des plaques ou des cylindres de verre trempé, observés par transparence à l'aide de la lumière polarisée. Les effets de compression et de distension des molécules dans ce milieu translucide se traduisent, entre les nicols, par des figures irisées, qui font connaître la distribution des points d'égale pression. Or, il est facile de constater par cette méthode que la surface et le noyau central sont dans des états

(*) *Comptes rendus*, 1875, t. LXXXI, p. 341.

(**) *Constitution moléculaire des corps trempés*, par M. Alfred Leger. Lyon 1877.

de tension tout à fait différents, et il paraît légitime d'étendre cette même conclusion à l'acier.

Tout nous conduit donc à penser que la trempe produit, dans l'acier, des distensions moléculaires qui peuvent même être excessives et arriver à dépasser la ténacité du métal. Cela explique les ruptures intérieures qui éclatent si fréquemment, surtout dans les grosses pièces, soit au moment de leur immersion dans l'eau froide, soit plutôt au bout de quelques instants ou même après un temps plus ou moins long, sous l'influence de légers chocs ou de changements de température (*).

La production de ces fentes intérieures, qui souvent ne sont pas visibles à la surface, mais n'en sont guère moins à redouter pour l'usage ultérieur, constitue un inconvénient d'autant plus grave, que les pièces d'acier doivent être presque complètement achevées avant d'être trempées, à cause de leur extrême dureté après la trempe, et que, par conséquent, tout le travail qui leur a été consacré se trouve ainsi perdu au dernier moment.

Il est à remarquer que les aciers qui prennent le plus de dureté par la trempe, sont aussi les plus exposés à ce genre d'accidents.

On cherche à les éviter par différents moyens empiriques, soit en mêlant à l'eau des substances gommeuses ou d'autres substances qui la rendent moins mobile et diminuent ainsi la vitesse du refroidissement,

(*) On réussirait sans doute à empêcher le développement de tensions anormales, et, par suite, la production de fentes intérieures si l'on pouvait faire en sorte que le refroidissement se propageât en sens inverse de ce qui a toujours lieu, c'est-à-dire du dedans vers le dehors de la pièce d'acier. Mais il y a bien peu de cas où ce résultat puisse être obtenu, et encore ne serait-ce qu'au prix de grandes difficultés pratiques.

soit en recouvrant l'eau d'une couche d'huile, soit en portant le bain liquide à une température plus ou moins élevée. On a même recommandé, fort justement à nos yeux, de recourir à l'eau bouillante pour les pièces de dimensions un peu grandes (*). Mais, en diminuant la vitesse de refroidissement ou la chute de température, on atténue en même temps la dureté de la trempe.

Compression. — Examinons maintenant les effets de la compression opérée sur l'acier préalablement chauffé au rouge cerise suivant la méthode de M. Clémandot.

Il nous faut, tout d'abord, écarter une erreur qui s'est accréditée au sujet de cette méthode. On a écrit, dans différentes publications, que la pièce d'acier devait être enfermée dans un moule qui la contînt exactement. Tout au contraire, il n'est pas nécessaire que la compression s'exerce à la fois sur toute la surface de la pièce d'acier; il suffit de la produire sur deux faces opposées. Une barre carrée, droite ou courbée en forme de fer à cheval, doit être simplement posée à plat et comprimée entre les deux plateaux de la presse hydraulique. La compression a même pu être appliquée avec succès sur les arêtes opposées d'un cylindre ou d'un tore; cependant ces conditions sont assurément peu favorables, et l'on doit, autant que possible, présenter à la presse des surfaces planes un peu étendues.

Pour se placer dans les meilleures conditions, il convient de comprimer, dans le plus court délai possible, la pièce d'acier préalablement portée au rouge cerise. A cet effet on peut préparer la presse hydraulique de telle sorte qu'il ne reste entre les sommiers que la place nécessaire pour l'introduction facile de la pièce; si l'on

(*) M. Puel. Note sur la trempe, dans le *Mémorial d'artillerie de marine*, 1882.

dispose d'accumulateurs, on amène très rapidement les surfaces pressantes au contact de l'acier, puis on pousse rapidement la pression jusqu'à la limite que l'on s'est fixée à l'avance, et qui peut correspondre à 10, 20 ou 30 kilogrammes par millimètre carré de surface.

On doit aussi avoir soin que les sommiers métalliques placés au contact de la pièce soient bien dressés et à surfaces nettes, pour être bons conducteurs de la chaleur.

On obtient alors le double résultat que nous avons déjà indiqué : le rapprochement et peut-être le soudage des particules d'acier sous l'action énergique et ininterrompue de la presse, et, en même temps, par le contact de masses métalliques froides, un refroidissement rapide, comparable à une véritable trempe.

Quoique le milieu trempant soit solide, l'effet de réfrigération est à peu près le même que dans un bain liquide ; mais il ne faut pas négliger cette différence essentielle, que la trempe par immersion donne lieu à une augmentation finale de volume et à une diminution de densité, tandis que la presse hydraulique, agissant pendant toute la durée du refroidissement, tend à ramener le métal à son volume primitif et par conséquent à son poids spécifique normal, et à empêcher de se produire l'état de distension intérieure que nous avons signalé dans l'acier trempé.

L'expérience a confirmé ces inductions théoriques, soit au point de vue de la densité, soit au point de vue des qualités de résistance du métal.

En ce qui concerne la densité, on nous permettra de citer les résultats d'expériences que nous avons faites avec le plus grand soin sur deux aciers d'origines très différentes : l'un était un acier au tungstène d'Allevard,

soit en recouvrant l'eau d'une couche d'huile, soit en portant le bain liquide à une température plus ou moins élevée. On a même recommandé, fort justement à nos yeux, de recourir à l'eau bouillante pour les pièces de dimensions un peu grandes (*). Mais, en diminuant la vitesse de refroidissement ou la chute de température, on atténue en même temps la dureté de la trempe.

Compression. — Examinons maintenant les effets de la compression opérée sur l'acier préalablement chauffé au rouge cerise suivant la méthode de M. Clémandot.

Il nous faut, tout d'abord, écarter une erreur qui s'est accréditée au sujet de cette méthode. On a écrit, dans différentes publications, que la pièce d'acier devait être enfermée dans un moule qui la contînt exactement. Tout au contraire, il n'est pas nécessaire que la compression s'exerce à la fois sur toute la surface de la pièce d'acier; il suffit de la produire sur deux faces opposées. Une barre carrée, droite ou courbée en forme de fer à cheval, doit être simplement posée à plat et comprimée entre les deux plateaux de la presse hydraulique. La compression a même pu être appliquée avec succès sur les arêtes opposées d'un cylindre ou d'un tore; cependant ces conditions sont assurément peu favorables, et l'on doit, autant que possible, présenter à la presse des surfaces planes un peu étendues.

Pour se placer dans les meilleures conditions, il convient de comprimer, dans le plus court délai possible, la pièce d'acier préalablement portée au rouge cerise. A cet effet on peut préparer la presse hydraulique de telle sorte qu'il ne reste entre les sommiers que la place nécessaire pour l'introduction facile de la pièce; si l'on

(*) M. Puel. Note sur la trempe, dans le *Mémorial d'artillerie de marine*, 1882.

dispose d'accumulateurs, on amène très rapidement les surfaces pressantes au contact de l'acier, puis on pousse rapidement la pression jusqu'à la limite que l'on s'est fixée à l'avance, et qui peut correspondre à 10, 20 ou 30 kilogrammes par millimètre carré de surface.

On doit aussi avoir soin que les sommiers métalliques placés au contact de la pièce soient bien dressés et à surfaces nettes, pour être bons conducteurs de la chaleur.

On obtient alors le double résultat que nous avons déjà indiqué : le rapprochement et peut-être le soudage des particules d'acier sous l'action énergique et ininterrompue de la presse, et, en même temps, par le contact de masses métalliques froides, un refroidissement rapide, comparable à une véritable trempe.

Quoique le milieu trempant soit solide, l'effet de réfrigération est à peu près le même que dans un bain liquide ; mais il ne faut pas négliger cette différence essentielle, que la trempe par immersion donne lieu à une augmentation finale de volume et à une diminution de densité, tandis que la presse hydraulique, agissant pendant toute la durée du refroidissement, tend à ramener le métal à son volume primitif et par conséquent à son poids spécifique normal, et à empêcher de se produire l'état de distension intérieure que nous avons signalé dans l'acier trempé.

L'expérience a confirmé ces inductions théoriques, soit au point de vue de la densité, soit au point de vue des qualités de résistance du métal.

En ce qui concerne la densité, on nous permettra de citer les résultats d'expériences que nous avons faites avec le plus grand soin sur deux aciers d'origines très différentes : l'un était un acier au tungstène d'Allevard,

l'autre un acier du Creusot, contenant, pour 100, les proportions suivantes des éléments autres que le fer :

	Acier du Creusot (n° 2).	Acier d'Allevard.
Carbone.	0,810	0,620
Silicium.	0,190	0,162
Soufre.	0,032	0,032
Phosphore.	0,029	0,027
Manganèse.	0,320	0,216
Tungstène	»	3,020

Trois portions d'un même barreau ont été, l'une conservée à l'état naturel, la seconde réchauffée et trempée à l'eau froide, la troisième réchauffée et comprimée à 30 kilogr. par millimètre carré. La densité, mesurée avec précision et ramenée par calcul à la température de zéro, dans le vide, a été trouvée la suivante pour chaque qualité :

	Naturel.	Trempé.	Comprimé.
Acier du Creusot (n° 2).	7,769	7,720	7,777
Acier d'Allevard.	7,998	7,932	7,983

On voit que, par l'effet de la trempe, la densité de l'acier a éprouvé une réduction notable (0,825 pour 100 dans la première expérience; 0,830 pour 100 dans la deuxième). Quant à l'acier comprimé, sa densité s'est trouvée ou très légèrement supérieure ou très légèrement inférieure à celle de l'acier naturel ; il semble que les deux effets contraires de dilatation par la trempe et de contraction sous l'effort de la presse se soient sensiblement équilibrés.

En ce qui concerne la résistance du métal, nous ne possédons malheureusement qu'un petit nombre de résultats, obtenus dans les ateliers du Creusot.

En avril 1882, on a essayé deux barreaux de 16 millimètres de diamètre, pris dans des aciers à canon,

l'un à l'état naturel, l'autre après l'avoir soumis à une pression de 30 kilogr. par millimètre carré; on a trouvé :

	Barreau naturel.	Barreau comprimé.
Limite d'élasticité	29 kil.	57 kil.
Charge de rupture par millim. carré de section primitive.	58k,5	73
Allongement pour 100 (mesuré sur 50 millimètres)	25	24

Le métal avait donc été durci, dans une très forte mesure, par la compression, sans avoir sensiblement perdu de sa ductilité, c'est-à-dire sans être devenu plus fragile.

On a renouvelé l'essai en octobre 1883 et on l'a fait porter sur quatre sortes d'aciers, dont les numéros (11, 10, 6 et 2) correspondent à des duretés croissantes et à des teneurs de plus en plus élevées en carbone. Au reste, voici les analyses, parmi lesquelles on reconnaîtra celle de l'acier n° 2 déjà mentionné plus haut :

	N° 11.	N° 10.	N° 6.	N° 2.
Carbone	0,101	0,246	0,507	0,810
Silicium	0,065	0,070	0,110	0,190
Soufre	0,032	0,030	0,025	0,032
Phosphore	0,018	0,031	0,031	0,029
Manganèse	0,340	0,120	0,340	0,320

Les barreaux étant encore tournés au diamètre de 16 millimètres, on a trouvé :

	ACIERS NATURELS.				ACIERS COMPRIMÉS.			
	N° 11.	N° 10.	N° 6.	N° 2.	N° 11.	N° 10.	N° 6.	N° 2
Limite d'élasticité (kilog.).	24	22,5	31,5	42	33	34,5	51	80
Charge de rupture (kilog.).	40,5	42,75	63	79,5	45,75	51,75	72,75	136,5
Allongement pour 100 (mesuré sur 80 millimètres).	42	32	24	10	37	30	20	10

Ces résultats confirment les premiers; ils montrent en outre que l'effet de la compression sur la résistance

du métal est d'autant plus considérable que l'acier est plus carburé.

Tout intéressants qu'ils soient, les résultats que nous venons de citer ne nous semblent pas suffisants pour asseoir un jugement définitif sur les avantages de la compression au point de vue de la résistance de l'acier.

D'une part, les expériences sont trop peu nombreuses pour ne pas laisser place à quelque doute; d'autre part, elles s'appliquent à des barreaux de dimensions trop restreintes pour que l'on puisse en tirer des conclusions relativement à des pièces d'acier de plus grande importance, comme celles qui entrent dans la construction des machines.

Pourra-t-on, moyennant quelques études pratiques, étendre à de semblables pièces les avantages du nouveau mode de travail? ou bien faudra-t-il, au contraire, le réserver pour des pièces de faible volume? Nous n'oserions pas nous prononcer à cet égard, avant que l'épreuve ait été faite dans des conditions plus variées qu'elle ne l'a été jusqu'ici.

Il reste évidemment toute une série d'essais à tenter pour arriver à l'emploi industriel du procédé de M. Clémandot; mais on peut prévoir qu'il sera facile de parvenir à des conclusions précises en menant ces essais avec méthode. On devra faire varier isolément et successivement chacun des éléments à étudier : la nature des aciers, les dimensions des pièces, l'intensité de la pression, la rapidité du refroidissement. On réussira de cette façon assez vite à échapper à l'empirisme dont on ne s'est pas encore affranchi complètement dans le procédé de la trempe par immersion.

Effets magnétiques de la compression. — Nous ter-

minerons ce Rapport en appelant l'attention sur une propriété spéciale qui peut être communiquée à l'acier, soit par la trempe, soit par la compression, et qui établit une dernière analogie entre ces deux opérations, quoique si différentes en apparence. C'est la faculté de recevoir et de conserver l'aimantation ou ce qu'on a appelé la *force coercitive*.

Un barreau d'acier suffisamment carburé est susceptible d'être aimanté, lorsqu'il a été soumis à la compression, comme lorsqu'il a subi la trempe, et l'on observe que les mêmes sortes d'aciers présentent, dans l'un et l'autre cas, la plus grande aptitude à s'aimanter.

Les expériences faites jusqu'ici dénotent une certaine infériorité des aimants comprimés ; car des aciers de même nature et de même dimension, aimantés à saturation, présentent une force magnétique un peu moindre lorsqu'ils ont été comprimés que lorsqu'ils ont été trempés à l'eau froide. Mais, d'une part, cette infériorité n'est peut-être pas définitive et pourrait être rachetée par une faible augmentation du poids des aimants ; de l'autre, elle n'est pas sans compensations sérieuses, comme nous allons le montrer.

On sait que l'acier trempé, lorsqu'il est soumis à un recuit au rouge, revient presque à l'état naturel et perd une grande partie de sa force coercitive. Il n'en est pas de même de l'acier comprimé : celui-ci peut, au contraire, être recuit et même forgé, sans perdre son aptitude à l'aimantation.

C'est là un fait assez remarquable ; il mérite d'être rapproché d'un autre fait que nous avons observé dans l'acier comprimé ; c'est la conservation, même après le recuit, de la finesse de grain qui le distingue de l'acier

naturel. Il semble que le rapprochement et peut-être le soudage des particules d'acier, opérés pendant le refroidissement sous pression ait des effets plus stables que ceux qui sont produits par la trempe ordinaire.

Nous avons pu constater, par exemple, qu'un barreau d'acier courbé en U, puis comprimé, et un autre barreau de même poids, comprimé d'abord à l'état de règle droite, puis réchauffé et courbé à la forge comme le premier, pouvaient l'un et l'autre porter environ vingt fois leur poids, après avoir été aimantés à saturation.

On pourra probablement profiter de cette stabilité des effets obtenus pour augmenter la puissance des aimants comprimés. Quelques expériences semblent indiquer, en effet, que la force magnétique peut être accrue en soumettant une barre déjà comprimée à une seconde compression après forgeage. D'autre part, un barreau comprimé d'abord peut ensuite être trempé à l'eau et recevoir une aimantation puissante. Il est donc à prévoir que la fabrication des aimants comprimés ne tardera pas à se perfectionner.

Mais on peut, dès aujourd'hui, reconnaitre à la compression une supériorité marquée sur la trempe, sous un certain rapport. Elle s'applique, en effet, sans difficulté, aux aciers les plus durs et qui fournissent précisément les meilleurs aimants, tandis que la trempe les fait souvent éclater ou fendre. Par exemple, les aimants à 3 et 4 pour 100 de tungstène, considérés actuellement comme susceptibles de la plus grande puissance magnétique, sont tellement exposés à la fissuration que souvent on renonce à les tremper à l'eau et que l'on se borne à employer pour eux la trempe à l'huile qui ne permet pas d'obtenir une aimantation

aussi énergique. On nous a même assuré, dans un grand atelier de construction de téléphones, que plus du tiers des aciers au tungstène se fendaient à la trempe et que, pour éviter un si grand déchet, on avait dû recourir à d'autres aciers fabriqués en Angleterre, quoique inférieurs au point de vue de la force magnétique.

La trempe a d'ailleurs l'inconvénient de donner lieu souvent à une déformation des pièces qu'il est presque impossible de corriger plus tard, à cause de l'extrême dureté de l'acier. La compression, au contraire, non seulement ne produit pas de fentes dans les aciers les plus carburés ou les aciers au tungstène, mais, donnant au métal moins de dureté et d'aigreur, ne s'oppose pas à un travail mécanique ultérieur, tel que le limage ou même le forage de trous, s'il est nécessaire.

Aussi n'avons-nous pas été surpris d'apprendre, il y a peu de jours, que quelques constructeurs d'aimants, éclairés sur les qualités de l'acier comprimé, se montraient disposés à l'employer désormais. Nous avons d'ailleurs pu recueillir sur le même sujet les témoignages les plus favorables auprès de plusieurs hommes particulièrement compétents en matière d'applications du magnétisme, tels que M. Diny, directeur des ateliers Dumoulin-Froment, M. de Branville, constructeur d'appareils téléphoniques, et M. Gilquin, directeur de l'usine de la Société Générale des téléphones. M. de Branville, par exemple, a pu nous dire qu'il avait employé, de préférence à d'autres, l'acier d'Allevard, comprimé par la méthode de M. Clémandot, pour la confection de plusieurs téléphones qui fonctionnent depuis dix-huit mois dans les salons du président de la République, à l'Élysée.

En résumé, l'invention de M. Clémandot nous paraît très digne d'encouragement. Il a montré que, concurremment à la trempe, un autre procédé pouvait être employé pour donner à l'acier l'homogénéité, la résistance, l'aptitude à l'aimantation, et que par ce procédé, on pouvait éviter certains inconvénients inhérents à la trempe par immersion. Il a ouvert une voie nouvelle qui mérite d'être explorée avec soin.

M. Clémandot ne s'est pas trouvé jusqu'ici en situation de faire tous les essais qui auraient été désirables ; mais on peut être assuré que, dès que l'industrie se sera emparée de son procédé, elle arrivera bien vite à en tirer parti et à délimiter le champ de ses applications possibles.

SYSTÈME

DE

TÉLÉGRAPHIE ET DE TÉLÉPHONIE SIMULTANÉES

PAR LES MÊMES FILS

De M. Van RYSSELBERGHE (*)

Dès le début de la téléphonie on ne tarda pas à comprendre combien cette admirable invention pourrait rendre de services au commerce et à l'industrie si l'on parvenait à établir des communications téléphoniques à grandes distances, de ville en ville, de pays à pays. On songea naturellement à utiliser les poteaux télégraphiques en plaçant sur ceux-ci, pour l'essai du téléphone, un fil parallèle à ceux du télégraphe. Mais immédiatement on se trouva en présence d'un obstacle énorme, *l'induction*, qui se traduit dans le téléphone, par des bruits intenses : un crépitement continuel, des éclats pénibles à l'oreille, quelque chose d'indéfinissable qu'on désigne parfois sous le nom de « friture téléphonique ».

Ces bruits, qui couvrent la voix et rendent toute communication impossible, proviennent de l'ensemble des signaux télégraphiques transmis par les fils voisins de celui que l'on emploie pour l'expérience. C'est un

(*) Extrait d'une notice de M. Mourlon.

effet d'influence réciproque qu'exercent les uns sur les autres tous conducteurs parallèles soumis à des variations de courants électriques.

Toutes les fois que l'état électrique d'un fil change — et il change brusquement à chaque émission ou extinction de courant, — tout fil parallèle en éprouve le contre-coup et se trouve parcouru par un courant momentané qui possède beaucoup d'énergie mais qui ne dure qu'un instant. C'est cette réaction brusque, ce *courant induit*, comme on l'appelle, qui vient secouer la plaque vibrante du téléphone et lui fait rendre le son aigu et perçant d'un coup sec.

Tous les signaux télégraphiques transmis se répercutent ainsi dans le téléphone et les bruits qui se font entendre sur un fil quelconque ont leurs échos sur les fils parallèles et voisins.

Tout fil, en pénétrant sur un territoire donné, amène avec lui et répand, sur le réseau auquel il vient se mêler, les bruits lointains des télégrammes échangés non seulement dans son pays d'origine, mais dans tous ceux qu'il a successivement traversés; ces échos réunis forment un bruissement qui rappellent vaguement celui de la mer aux jours de tempête et d'orage.

Tel est le grave obstacle qui, dès le début, s'est opposé à l'établissement de communications téléphoniques à grandes distances. Mais si déjà ces bruits se répercutent avec cette intensité sur un fil qui se trouve dans le voisinage des fils télégraphiques, que sera-ce si on installe un téléphone sur les fils même du télégraphe? Pouvait-on songer à supprimer le vacarme qui se produisait alors et qui était vraiment assourdissant?

Néanmoins, tel est le problème que M. Van Ryssel-

berghe a eu l'audace de se poser et qu'il est parvenu à résoudre. Nous disons l'audace, car les difficultés de la question n'étaient pas seulement grandes, elles étaient nombreuses.

Admettons que l'on se rende maître de l'induction, comment pourra-t-on maintenir le secret de la correspondance télégraphique? Il ne suffira pas de rendre celle-ci « inaudible », il faudra empêcher que le téléphone ne puisse en aucune façon intercepter les télégrammes transmis par le fil auquel il sera relié. De plus, comment empêcher que le téléphoniste, tenant le fil télégraphique en sa possession, n'ait la faculté d'y lancer des courants, de l'isoler, de le mettre sur terre, etc.?

Comment empêcher que ces manœuvres malveillantes ou inconscientes ne puissent jamais troubler le télégraphe; en un mot, comment assurer l'indépendance mutuelle des deux services?

Que d'autres aient eu la même idée, qu'il se soient posé le même problème, avant ou après M. Van Rysselberghe, c'est possible, c'est même certain; mais il est incontestable que lui seul a résolu le problème tel qu'il vient d'être posé, c'est-à-dire tel qu'il le fallait pour que la solution soit applicable. Et malgré tout le retentissement que la découverte du jeune savant belge a dans le monde de l'électricité comme dans celui des affaires, on n'a pas trouvé jusqu'à présent d'autre solution que la sienne.

On ne pouvait d'ailleurs imaginer rien de plus simple.

Tout le système de M. F. Van Rysselberghe repose sur le fait suivant découvert par lui : *lorsqu'on enlève la brusquerie des émissions et des extinctions de cou-*

rants, *ceux-ci deviennent inaudibles au téléphone.*

Aux courants brusques il substitue pour le télégraphe des *courants graduels*, c'est-à-dire des courants qui vont crescendo en commençant et decrescendo en finissant. Cette graduation, qui a lieu dans une durée inappréciable, s'obtient par l'intercalation dans le circuit de petits électro-aimants *graduateurs* ou encore en mettant sur la ligne des condensateurs faisant l'office de *dérivateurs*, ou, enfin, si l'on veut obtenir des résultats plus parfaits, en combinant des électro-aimants avec des condensateurs.

Condensateurs et électro-aimants agissent ici comme réservoirs d'électricité absorbant une certaine quantité du courant, quantité qu'ils restituent à la rupture du circuit (*).

Pour bien comprendre le fonctionnement de ces appareils servons-nous d'une comparaison donnée par l'inventeur :

« Ces électro-aimants et ces condensateurs sont à l'égard des courants électriques ce que sont les réservoirs à air dans les pompes à incendie; ce sont des poches qui se remplissent et qui se vident graduelle-

(*) *Un électro-aimant* est une bobine de fil métallique avec noyau en fer doux. Lorsqu'un courant commence à circuler dans une bobine ainsi construite, le noyau en fer s'aimante graduellement, d'où absorption graduelle d'une certaine quantité d'énergie électrique; au contraire, lorsque le courant cesse dans cette bobine, le noyau se désaimante graduellement, d'où restitution graduelle de l'énergie absorbée au commencement du courant.

Un condensateur est formé par la superposition alternative de feuilles de papier et d'étain réunies de façon que l'ensemble constitue deux grandes surfaces métalliques séparées simplement par une couche mince de matière isolante. L'une de ces surfaces étant mise en communication avec une ligne télégraphique, l'autre étant reliée à la terre, à chaque émission d'électricité sur le fil le condensateur en absorbe graduellement un certaine quantité, quantité qu'il restitue graduellement lorsque l'émission cesse.

ment, enlevant ainsi toute brusquerie dans les changements de pression électrique. »

Sous l'influence de courants gradués de cette façon la membrane du téléphone fléchit bien encore, *mais elle ne vibre plus :* dès lors, elle ne donne plus de son au passage du courant télégraphique.

En d'autres termes, les courants télégraphiques deviennent complètement silencieux, inaudibles, qu'ils soient directs, induits ou dérivés.

Dès lors que l'on applique, *d'une manière générale*, à tous les télégraphes de l'Europe cette combinaison d'un condensateur avec électro-aimant qui forme la caractéristique de l'invention de M. Van Rysselberghe et à l'instant tout le réseau européen deviendra silencieux. Alors on pourra, non seulement organiser la téléphonie de ville à ville par des fils attachés aux mêmes poteaux que les fils télégraphiques, mais utiliser ceux-ci eux-mêmes pour la téléphonie. Ceci bien entendu en complétant le système anti-inducteur par un dispositif qui assure l'indépendance des deux services ; en d'autres termes, en établissant entre la ligne télégraphique et l'embranchement téléphonique une séparation telle qu'elle livre passage aux courants rapides ondulatoires et peu intenses de la téléphonie, mais qu'elle barre le passage aux courants du télégraphe qui sont de nature essentiellement différente.

Cette séparation, c'est encore par une comparaison émanée de l'inventeur que nous tâcherons d'en rendre compte : « Ainsi, a dit M. Van Rysselberghe, le soleil nous envoie simultanément de la chaleur et de la lumière, deux mouvements vibratoires qui affectent nos sens de manière différente. Or, que l'on couvre d'une couche de peinture noire le vitrage d'une serre

exposée au soleil, la lumière ne passera plus, mais la chaleur passera toujours. D'autre part, qu'on reçoive un rayon solaire sur une solution d'alun, cette fois c'est la lumière qui passe tandis que la chaleur est absorbée. »

De même il suffit d'un condensateur de faible capacité pour barrer le passage aux courants du télégraphe tout en transmettant intégralement les courants ondulatoires de la téléphonie.

On voit que le système de M. Van Rysselberghe est surtout remarquable par sa grande simplicité. Il est vrai que même pour une seule communication téléphonique à établir, ne fût-ce qu'à titre expérimental, il exige, à la rigueur, l'approbation générale de tout le réseau télégraphique.

Par contre cette approbation générale étant faite, tous les fils du télégraphe deviennent simultanément disponibles pour la téléphonie.

L'opportunité du système Van Rysselberghe est d'autant plus grande que tout service téléphonique *pour être parfait* nécessite, pour un nombre donné de communications à établir, deux fois plus de fils que n'en exigerait le télégraphe.

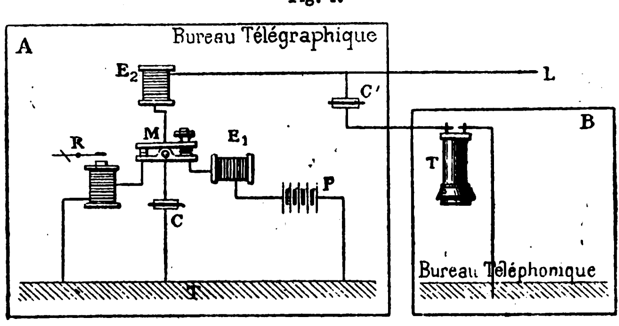
En effet, un réseau parfait exige pour chaque communication verbale un circuit métallique complet avec un fil de retour et cela à cause de l'induction téléphonique que l'on constate dans tous les réseaux à fil simple et qui ne peut être combattu efficacement que par l'emploi du double fil. Pour compléter sa méthode M. Van Rysselberghe avait donc à imaginer un dispositif qui permît l'accouplement de deux fils télégraphiques, de telle façon que tout en restant distincts au

point de vue du télégraphe et tout en fournissant à celui-ci deux communications indépendantes, les deux fils ne formassent pourtant qu'un seul circuit téléphonique complet. En outre, le double fil ne détruit complètement les effets de l'induction téléphonique qu'à la condition de former par rapport à l'ensemble de tous les autres fils un système absolument symétrique et cette condition théorique étant rarement satisfaite dans l'état actuel des réseaux, le dispositif à imaginer devait remédier à ces défauts de symétrie.

Nous allons, par les deux figures qui suivent, donner une idée générale du système :

M (*fig.* 1) figure le manipulateur et R le récepteur d'un appareil télégraphique quelconque, P la pile.

Fig. 1.



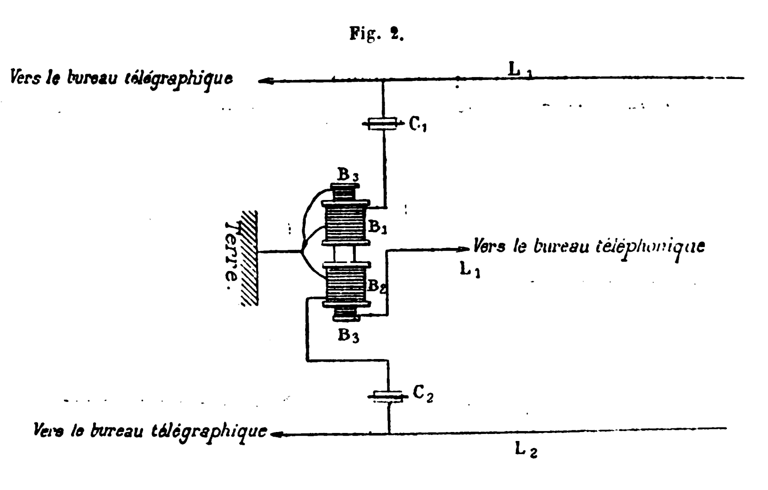
E_1 et E_2 sont deux électro-aimants graduateurs placés, le premier entre la pile et le manipulateur, le second entre le manipulateur et la ligne L, enfin C est un condensateur-graduateur placé en dérivation sur la ligne entre les deux électro-aimants.

C′ est un condensateur de faible capacité relié, d'une part à la ligne, d'autre part à un poste téléphonique quelconque T. Moyennant cette disposition, le bureau

télégraphique A et le bureau téléphonique B pourront employer simultanément le même fil sans gêne réciproque, avec une entière indépendance et sans que les opérateurs du télégraphe aient à se préoccuper en rien des agissements ou conversations des agents du téléphone.

La figure 2 représente le dispositif pour l'accouplement de deux fils télégraphiques distincts L_1 et L_2 en un circuit téléphonique complet.

Fig. 2.



C_1 et C_2 sont deux condensateurs de faible capacité ;

B_1, B_2, deux bobines différentielles induisant une troisième bobine B_3; l'une des extrémités de chacune de ces bobines communique avec la terre ;

B_1 communique en outre avec la ligne télégraphique L_1 ;

B_2 avec la ligne L_2 ;

B_3 avec la ligne L_3 qui se dirige vers le bureau central des téléphones.

Il est clair que les fils L_1 et L_2 sont à desservir par des télégraphes munis des dispositions anti-inductrices comme celles indiquées à la figure 1.

Les explications qui précèdent indiquent clairement que pour détruire l'induction télégraphique, ainsi que pour opérer par les mêmes fils la transmission simultanée de télégrammes et de messages, M. Van Rysselberghe, contrairement à une idée assez répandue, n'a recours ni à des téléphones, ni à des microphobes spéciaux. Tout le travail d'appropriation s'accomplit dans les bureaux du télégraphe. C'est le télégraphe et non le téléphone qu'il fallait modifier de façon à le rendre silencieux. Cela fait, on parle et l'on écoute sur les fils ainsi préparés à l'aide de microphones et de téléphones *quelconques.*

Le silence télégraphique est obtenu dans une mesure plus ou moins complète suivant que le système graduateur a été appliqué d'une façon plus ou moins générale. S'il reste quelque bruit d'induction dans le téléphone, c'est que par raison d'économie on s'est abstenu de munir un certain nombre d'appareils télégraphiques du système graduateur; car on peut garantir qu'une appropriation complète donne le silence total.

D'autre part, la correspondance parlée est plus ou moins bonne suivant la valeur plus ou moins grande du système téléphonique mis en œuvre.

En Belgique, par exemple, les Compagnies des téléphones ont conservé les postes Blake-Bell installés dès l'origine chez leurs abonnés. L'expérience a démontré que ces appareils sont suffisants pour porter la voix à plus de 100 kilomètres de distance. Mais le ré-

sultat bon ou médiocre que l'on obtient pour chaque cas particulier ne résulte ni du système anti-inducteur de M. Van Rysselberghe, ni de sa méthode de télégraphie et téléphonie simultanées, *il dépend uniquement de la valeur du poste téléphonique dont les interlocuteurs se servent.*

A cet effet, il ne faut pas perdre de vue qu'indépendamment du système anti-inducteur et de la méthode de transmission simultanée par les mêmes fils, M. Van Rysselberghe s'est également appliqué à perfectionner les microphones. Cet inventeur s'est attaché à augmenter dans une mesure notable la puissance des appareils et cela par des moyens très simples.

Quoique dans les cas ordinaires les microphones bien connus de Berliner, de Blake, d'Ader, Gower-Bell, d'Edison, etc., soient satisfaisants, il est indispensable de recourir aux perfectionnements indiqués par M. Van Rysselberghe s'il s'agit de porter la parole au delà de 200 kilomètres, ou si l'on veut avoir à des distances moindres une transmission nette, claire et puissante.

On sait que dans les transmetteurs à charbon ou microphones, la production électrique de la voix humaine a lieu par les variations de résistance qu'éprouvent les courants au charbon sous l'influence des vibrations qui agitent la membrane, diaphragme ou planchette des microphones. Or, les recherches de M. Van Rysselberghe et les expériences faites par lui l'ont amené à la confirmation de ce résultat, indiqué d'ailleurs par le calcul *que les variations de la résistance des courants ont d'autant plus de valeur relative et que les variations de courant qui en résultent sont d'autant plus considérables que la résistance totale du circuit est plus faible.*

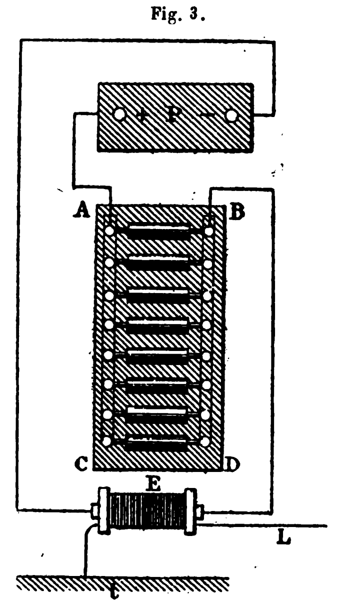
On emploiera donc avec grand succès les éléments secondaires ou accumulateurs et les piles thermo-électriques.

En général toute pile à résistance intérieure très faible donne de bons résultats. C'est ainsi que l'inventeur recommande l'emploi des piles Leclanché à plaques agglomérées à grande surface de 180 millimètres de longueur sur 70 millimètres de largeur, avec grand cylindre en zinc.

Une nouvelle pile au manganèse de M. Warnon avec des sacs dans les dimensions précitées et avec grand cylindre en zinc a donné également des résultats très satisfaisants.

Mais il ne suffit pas de diminuer la résistance intérieure de la pile, il faut diminuer aussi celle du microphone, et pour cela recourir à des courants multiples, disposés *tous en quantité*.

Fig. 3.



La figure 3 indique la disposition à donner au microphone :

P est un élément secondaire de Planté ou un accumulateur Faure, ou bien encore une pile Leclanché ou Warnon à grande surface et de faible résistance intérieure.

ABCD est une planchette en sapin dans les dimensions de celles adoptées pour les microphones Ader,

sur laquelle sont disposées parallèlement huit séries de petits crayons de charbon, de façon à fournir un microphone à contacts multiples disposés *tous en quantité*. La résistance totale ne dépassera pas 2 ohms, tandis que dans la plupart des microphones on trouvera pour le même circuit une résistance d'environ 16 ohms.

E est une bobine d'induction établie de façon à donner très peu de résistance à son circuit primaire.

M. Van Rysselberghe adopte aussi pour le circuit secondaire de cette bobine des résistances très faibles parce que l'expérience lui a démontré que pour franchir de grandes distances, il faut produire des courants de quantité et non des courants de tension.

On conçoit que, pour l'appel d'un poste téléphonique à un autre ou d'un bureau central à l'autre, il n'est pas possible, lorsque le téléphone emprunte les fils du télégraphe, de se servir ni de *sonneries trembleuses* actionnés par la pile, ni de sonneries électro-magnétiques appelées communément *Magneto Calls*, car les courants engendrés par ces deux appareils ne manqueraient pas de contrarier le travail du télégraphe. Il faut donc avoir recours aux appareils téléphoniques eux-mêmes et tâcher qu'ils produisent un appel suffisant pour être entendu quelle que soit la distance du bureau téléphonique avec lequel on désire communiquer.

Il était même indispensable pour un service important que les appels fussent *visibles*, c'est-à-dire qu'un numéro d'annonciateur apparût à chaque appel et établît l'identité du fil sur lequel l'appel s'est produit.

M. Van Rysselberghe a résolu d'une manière très heureuse ce problème délicat en appliquant et en developpant des idées qui lui ont été suggérées par M. Sieur, fonctionnaire de l'administration des télégraphes fran-

çais. Et actuellement, qu'il s'agisse d'un appel par fil exclusivement téléphonique ou qu'il s'agisse de demander la communication par fil téléphono-télégraphique, la manœuvre est la même.

Les premiers essais de téléphonie à grande distance en utilisant les fils du télégraphe, alors que M. Van Rysselberghe songeait à résoudre le problème en rendant la voix du téléphone assez puissante pour arriver à dominer les bruits d'induction, eurent lieu le 16 janvier 1882 entre Bruxelles-Nord et Anvers-Est. Mais la première expérience du système Van Rysselberghe basée sur le principe de la graduation des courants en employant des condensateurs eut lieu le 28 février 1882; on put causer par téléphone entre l'Observatoire royal de Bruxelles relié, comme on sait, à la Station météorologique d'Ostende, par un fil spécial placé sur les poteaux du télégraphe.

Le 4 du mois de mars de la même année, ces expériences étaient renouvelées toujours avec le même succès, en pleine activité télégraphique, en présence de M. F. Delarge, directeur des télégraphistes ; de M. Banneaux, ingénieur en chef, et de M. Houzeau, le savant directeur de l'Observatoire royal de Bruxelles.

Au mois d'avril un essai, couronné de succès, fut fait entre Bruxelles et Anvers en utilisant un fil de la ligne souterraine d'Anvers sur une longueur de 1,500 mètres de câble et de 88 kilomètres de fil aérien. Le circuit formé partait d'Anvers-Bourse, allait à Bruxelles-Nord et revenait par un autre fil à Anvers-Station.

Après avoir ainsi acquis la certitude que si l'on appropriait d'une manière générale le réseau télégraphi-

que belge au système Van Rysselberghe, on pourrait causer par téléphone entre Bruxelles et les principales villes de la Belgique en utilisant les fils du télégraphe, il restait à démontrer la possibilité d'établir des communications téléphoniques internationales.

On songea donc à faire une expérience entre Bruxelles et Paris. Indépendamment de la distance (335 kilomètres), des difficultés de toute nature se présentaient qui devaient rendre ces essais extrêmement compliqués, car à l'entrée de Paris, par la direction du Nord, se trouve un véritable fouillis de lignes télégraphiques très peu distantes les unes des autres et formant un ensemble de plus de 400 fils.

On aura une idée des difficultés très sérieuses qu'il y avait à surmonter si l'on songe que pour cette mémorable expérience scientifique, qui fera certainement époque dans l'histoire des communications électriques, il a fallu prendre au milieu du réseau télégraphique dont il vient d'être parlé un de ces 400 fils pour le faire servir à la double transmission télégraphique et téléphonique entre les deux capitales, pendant les essais qui furent faits les 16 et 17 mai 1882.

Dans la première expérience, qui eut lieu le 16 mai, on a pu transmettre *simultanément par le même fil* les deux dépêches suivantes :

DÉPÊCHE TÉLÉPHONIQUE PARLÉE.

A Monsieur COCHERY, *Ministre des postes et télégraphes.*

Je suis heureux d'être appelé à transmettre à Monsieur le Ministre des postes et télégraphes de France, au nom de l'Administration des télégraphes de Belgique, la première dépêche téléphonique à longue distance par un fil conducteur unique. Nous enregistrons aujourd'hui une victoire nouvelle qui associera le nom de M. Van Rysselberghe aux noms glorieux de Graham Bell, de Hughes et d'Edison. Ce progrès est double, car la correspondance téléphonique s'effectue en ce moment par le même fil qui transmet une dépêche Morse à l'ingénieur Caël. Je suis certain d'être l'interprète de M. le Ministre des Travaux publics, mon chef, en vous exprimant, M. le Ministre, toute la satisfaction que nous éprouvons ici de voir nos relations avec la France rendues plus faciles encore.

Agréez, Monsieur le Ministre, nos respectueux hommages.

BANNEUX,
Ingénieur-Inspecteur des télégraphes.

DÉPÊCHE TÉLÉGRAPHIQUE TRANSMISE PAR L'APPAREIL MORSE ORDINAIRE.

A Monsieur CAËL, *Directeur-Ingénieur des télégraphes.*

Je prie Monsieur le Directeur-Ingénieur Caël de recevoir, par Morse, de Bruxelles à Paris, mes compliments les plus affectueux. La présente dépêche passée en même temps qu'un télégramme téléphonique à M. le Ministre Cochery sur l'unique fil qui nous relie en ce moment.

BANNEUX,
Ingénieur-Inspecteur des télégraphes.

M. Frank Geraldy, le rédacteur bien connu du journal universel d'électricité de Paris *la Lumière électrique*, qui assistait aux expériences, s'exprime ainsi dans un article du 27 mai 1882 : « J'ai pu, dit-il, constater « que la conversation entre Paris et Bruxelles était « facile, la parole est très claire, il n'est pas néces- « saire de parler très haut, mais seulement d'une voix « claire et bien articulée, ce qui est du reste toujours « réclamé par le téléphone ».

Il est à remarquer que les deux dépêches que nous venons de rappeler ont été passées à 8 h. 10 m. du matin, alors que le plein travail des bureaux avait commencé et que l'induction était déjà très considérable.

Ces expériences et leur résultat couronné de succès eurent un très grand retentissement; aussi bien en

France qu'en Belgique, la presse fut unanime à exprimer l'espoir de voir le gouvernement prendre l'initiative de doter le pays d'un système complet de transmission téléphonique à grandes distances. Le 31 mai, les ministres Rolin, Graux et Gratry assistèrent à de nouvelles expériences entre Bruxelles, Gand et Ostende, qui furent peut-être mieux réussies encore que les précédentes.

Mais d'autres succès étaient réservés à l'inventeur de cette admirable application du téléphone. En effet, le 9 juin 1882, en présence de M. Bourdeaux, ingénieur *Submarine telegraph Company*, et de M. Banneux, ingénieur en chef des télégraphes belges, le premier se trouvant à Douvres, le second à Ostende, on parvenait pour la première fois, tous les essais faits jusque-là ayant été infructueux, à transmettre la parole à travers le câble qui relie la Belgique à l'Angleterre.

Au moyen du téléphone placé à Douvres sur le fil à la sortie même du câble de façon à pouvoir neutraliser les influences nuisibles du réseau aérien vers Londres, on a parfaitement compris toute la conversation transmise d'Ostende aussi bien que de Bruxelles. Pour le prouver, l'expérimentateur placé à Douvres renvoyait par télégraphe toutes les communications qu'il recevait par téléphone, — soit, par exemple, de Bruxelles en passant par Ostende et la mer du Nord, — la parole franchissant ainsi pour la première fois une *distance de* 125 *kilomètres de fil aérien et* 100 *kilomètres environ de câble sous-marin.*

Après ces essais, faits entre la Belgique, la France et l'Angleterre, la Hollande voulut aussi expérimenter le système. Des installations complètes et définitives furent établies entre Amsterdam et Haarlem de façon

à permettre aux bureaux centraux téléphoniques de ces deux villes de communiquer entre eux par téléphone en utilisant les fils du réseau télégraphique de l'État.

Depuis lors le système fonctionne régulièrement.

La dernière expérience, et peut-être la plus importante de toutes celles faites jusque-là, eut lieu le 7 octobre 1882 en présence de M. le ministre des travaux publics, qui put ainsi consacrer officiellement le succès des essais du système de télégraphie et de téléphonie simultanés par les mêmes fils, imaginé par M. Van Rysselberghe.

MESURE

DE LA

COMPOSANTE HORIZONTALE DU MAGNÉTISME TERRESTRE

PAR LA MÉTHODE DE L'AMORTISSEMENT.

Note de M. J.-B. Baille (*Comptes rendus.*)

La composante horizontale $\mathfrak{E}$ du magnétisme terrestre se détermine ordinairement, en valeur absolue, par la méthode de Gauss, qui donne en même temps le moment magnétique M du barreau. Mais l'application de cette méthode présente plusieurs inconvénients : il faut employer deux barreaux, et faire deux observations indépendantes l'une de l'autre, séparées par un intervalle de temps assez long, pendant lequel la force terrestre a pu varier.

Je me suis proposé d'appliquer à cette recherche l'ancienne observation de Gambey et d'Arago sur le prompt amortissement des aimants, oscillant au-dessus d'une plaque épaisse de cuivre. On sait qu'un barreau aimanté, oscillant à l'intérieur d'une bobine couverte de fils, éprouve un amortissement très différent suivant que la bobine constitue un circuit ouvert ou un circuit fermé.

En mesurant l'amortissement dans les deux cas, on obtient par différence le moment, h, de la réaction que les courants induits exercent sur l'aimant mobile. Cet élément est lié au moment magnétique du barreau oscillant M, et aux constantes électriques de la bobine (résistance exprimée en ohms W, et constante galvano-

métrique G, exprimée en centimètres), par la formule connue

$$M^2 = WG^2h.$$

Si donc on mesure h et si l'on connaît les constantes WG^2 au moment de l'observation, on pourra calculer M.

Or, comme on a déjà déterminé le couple directeur $\mathfrak{C}M$, au moyen de la durée d'une oscillation et de la connaissance du moment d'inertie, on peut, par une division, obtenir le nombre $\mathfrak{C}$, en unités absolues, C. G. S. par exemple, si tous les autres éléments ont été mesurés avec les unités correspondantes.

Cette méthode est très simple et très rapide : elle nécessite l'emploi d'un seul aimant qui peut être toujours le même, et elle dure quelques minutes à peine. En outre, elle paraît peut-être plus précise encore que la méthode de Gauss, puisqu'elle donne la composante horizontale au moment de l'observation. D'ailleurs, l'amortissement d'un mouvement oscillatoire est un des éléments physiques les plus faciles à déterminer avec sûreté, lorsqu'on prend des précautions convenables pour avoir de bonnes oscillations; et l'observation peut en être faite en même temps que celle de la durée des oscillations.

Il y a cependant deux inconvénients qui pourraient perturber assez profondément les mesures si l'on ne cherchait à en tenir compte.

D'abord, la self-induction a pour effet d'altérer les courants induits. Il faudrait donc à chaque observation faire une correction convenable, mais il est plus simple d'éliminer cette cause d'erreur : on y parvient en prenant une bobine ayant un petit nombre de tours de fils, et surtout en attachant à l'aimant une pièce ayant un fort moment d'inertie, pour que la durée d'une oscillation soit assez longue.

Ensuite, la variation de la déclinaison a pour effet de rendre l'amortissement dissymétrique et se présente comme une irrégularité des oscillations. On peut ne pas tenir compte de cette cause d'erreur, en ayant soin de faire des observations rapides et de considérer un nombre pair d'amplitudes. La déclinaison peut alors être regardée comme ayant varié régulièrement.

Les constantes de la bobine, à déterminer au préalable, sont la résistance électrique W, que l'on mesurera par les procédés ordinaires, et que l'on ramènera au moyen d'une correction convenable, à la température de l'observation, puis la constance galvanométrique G. Ce dernier élément est assez délicat à obtenir par les procédés ordinaires ; mais on pourrait le conclure des premières observations d'amortissement, si l'on avait soin de mettre dans la bobine un barreau dont le moment magnétique aurait été déterminé d'avance par la méthode de Gauss.

J'ai appliqué la méthode de l'amortissement, telle que je viens de la décrire, avec une bobine dont les éléments électriques avaient été mesurés à part. J'ai déterminé la composante horizontale terrestre, dans mon observatoire magnétique de Villeneuve-Saint-Georges. Des nombreux résultats très concordants que j'ai obtenus, je détache les observations suivantes, dans lesquelles les deux méthodes ont été employées concouramment (unités C. G. S.).

1884.	Aimants.	Méthode de Gauss.	Méthode de l'amortissement.
25 septembre.......	A	0,19430	0,19381
	B	19413	19532
26 septembre.......	M	0,19487	0,19512
	N	19450	19464

LES

MACHINES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES

DANS LA TÉLÉGRAPHIE (*).

La pensée de remplacer les piles par les machines électriques, pour le service des bureaux télégraphiques, n'est pas nouvelle, et plusieurs expériences ont été déjà faites dans ce sens. M. Rothen, directeur adjoint des télégraphes suisses, vient de faire paraitre sur cette question une étude intéressante que nous allons résumer.

La suppression des piles est une idée séduisante, lorsqu'on considère qu'aucun générateur ne fournit l'électricité à aussi bas prix que les dynamos, et que, d'un autre côté, l'on se souvient des nombreux embarras causés par l'entretien des piles. Ces inconvénients, les télégraphistes ne les connaissent que trop, et il n'est pas nécessaire d'insister pour faire ressortir combien, au point de vue de la propreté et de la facilité de l'entretien, il serait avantageux de pouvoir employer les dynamos.

En ce qui concerne le coût de l'électricité fourni de l'une ou de l'autre manière, la question présente moins d'importance. Il convient, tout d'abord, de remarquer

(*) *Bulletin de la Société internationale des téléphones.*

que les dépenses des piles sont, de la part des différentes administrations, l'objet d'évaluations très variables, et dépendent, en outre, des systèmes en usage. Tandis que, dans certains pays, on compte une dépense moyenne annuelle de 3 francs par élément, dans d'autres, cette dépense n'est évaluée qu'à 1 franc, et même à moins. Le montant réel des frais d'entretien des piles est donc difficile à apprécier d'une façon certaine. Quant à la production de l'électricité par les dynamos, il n'est pas absolument exact de dire qu'elle est beaucoup plus économique; il y a à cela certaines conditions : grand débit d'électricité et peu de variations dans ce débit, conditions qui ne sont généralement pas satisfaites dans le service télégraphique.

D'un autre côté, étant admis même que, dans les bureaux télégraphiques l'exploitation par les dynamos fût plus économique que par les piles, il n'en résulterait pas forcément la conséquence que l'on dût adopter les premières. La quantité d'électricité demandée est en effet si petite, le courant desservant les lignes est si faible qu'un peu plus ou un peu moins de frais de production ne saurait guère influer d'une manière appréciable sur le chiffre des dépenses totales.

Dans les petits bureaux intermédiaires on ne peut d'ailleurs songer à introduire les machines électriques; elles ne sont possibles que pour les grands bureaux où se concentre la grosse masse du service. Le débit d'électricité est assez considérable dans ces derniers, et là surtout où l'on fait usage du système des piles spéciales pour chaque ligne et où, de ce fait, le nombre total des éléments peut s'élever parfois jusqu'à 20,000, la substitution des dynamos aux piles offre plus d'intérêt.

Les premiers essais dans ce sens ont été faits par M. Louis Schwendler, en octobre 1879, entre les bureaux de Calcutta et d'Agra, sur une distance de 1,350 kilomètres ; en août 1880, ils furent répétés avec un succès complet au bureau de Calcutta qui put télégraphier sur onze lignes différentes, ordinairement desservies par des batteries différentes variant de 20 à 195 éléments.

L'expérience met en évidence un autre avantage auquel on n'avait pas pensé. L'influence seule du circuit télégraphique étant impuissante à faire amorcer la dynamo, il fallut établir en dérivation un second circuit sur lequel on plaça une lampe à arc Serrin, et l'on obtint simultanément l'éclairage de la station. Le courant, absorbé par le service du télégraphe, était d'ailleurs une fraction si faible du courant total, qu'il ne possédait aucune influence sur le fonctionnement de la lampe électrique. On obtiendrait donc ainsi pour rien le courant nécessaire au bureau télégraphique, en admettant naturellement que la dynamo puisse être utilisée jour et nuit, soit pour la production de la lumière électrique, soit pour un autre travail analogue.

Dans ses expériences, M. Schwendler s'est toujours servi des courants dérivés d'une dynamo dont le courant principal était affecté à une autre destination, mais il ne paraît pas avoir songé à utiliser le courant total de la machine pour la télégraphie. C'est là pourtant la voie qu'ont suivi plus tard les autres électriciens. Ainsi, la *Western Union Telegraph C°* a établi des dynamos pour desservir les lignes de son bureau central de New-York. La machine électrique n'agit pas directement sur les lignes, mais son courant passe par différents inducteurs, variés suivant la résistance des

lignes, en sorte que chacune d'elles reçoit un courant propre aux conditions dans lesquelles elle se trouve.

Des essais analogues ont été faits par Kohlfürst, à Prague, mais les plus importants ont eu lieu tout dernièrement à la station centrale des télégraphes de Berlin. Le courant était fourni par une dynamo à courant non inversé, amorcé par une autre petite machine. En décembre 1883, on a travaillé à la fois sur un nombre de lignes variant de 14 à 18. Au mois de janvier suivant, l'application de ce mode de télégraphe a été étendue à 40 lignes, dont 12 souterraines et 2 aériennes desservies par l'appareil Hughes, 11 souterraines et 12 aériennes desservies par l'appareil Morse, et 3 lignes à courant continu. Le service s'est parfaitement effectué avec la dynamo, bien que la force électromotrice du courant variât beaucoup d'une ligne à l'autre par suite des grandes différences de résistance.

Comme avec les piles, on a réussi à établir des transmissions et l'on croit même avoir pu constater que le jeu du manipulateur Morse était susceptible d'un peu d'accélération sur les longs câbles. Le service du courant continu s'est fait également bien, soit qu'on laissât subsister les piles aux autres extrémités de la ligne, soit que la dynamo fût seule à fournir le courant.

Dans les installations de lumière électrique, on introduit généralement une courte pièce en plomb pour protéger contre les courants trop forts les fils conducteurs qui pénètreut dans les maisons. A Berlin, on a fait quelque chose d'analogue pour les fils télégraphiques en intercalant dans le circuit des fils courts et minces en acier, enfermés dans des tubes en porcelaine et qui brûlaient avant qu'un courant trop fort pût entrer dans la ligne.

Il est à désirer que les applications des machines dynamos à la télégraphie n'en restent pas là et que les essais soient continués, car il est presque impossible de trouver immédiatement la meilleure solution de ce nouveau problème. L'emploi des dynamos présente en effet quelques difficultés dont nous allons indiquer les plus sérieuses.

La résistance extérieure de la ligne empêche la machine d'amorcer. Pour surmonter cette difficulté, on peut, comme l'a fait M. Schwendler, établir à côté du circuit télégraphique, un circuit dérivé d'une très faible résistance; mais ce procédé n'est applicable que si l'on a le moyen d'utiliser le courant en dehors de la transmission. Il est en général plus simple d'exciter le champ magnétique de la dynamo au moyen d'une autre machine ou encore d'employer une machine magnéto-électrique.

Une autre difficulté provient de ce que les lignes qui aboutissent à un même bureau ont des résistances très différentes. Dans un service régulier, il faudrait donc disposer de différentes forces électro-motrices et par suite avoir plusieurs machines. Il existe cependant un moyen assez simple qui permettrait de n'avoir besoin que d'une seule dynamo : ce serait d'égaliser, au moyen de résistances auxiliaires, les résistances de toutes les lignes du bureau. On perdrait ainsi, il est vrai, une certaine quantité d'énergie; mais à cause de la faible intensité des courants télégraphiques, cette perte ne serait jamais assez forte pour altérer l'économie du système.

Enfin, le travail d'un bureau télégraphique varie sensiblement suivant les différentes parties de la journée et de la nuit, et souvent même ces variations se

produisent d'un instant à l'autre. Les machines doivent donc se conformer à ces variations et, par machines, il faut entendre non seulement la machine électrique, mais encore la machine à gaz ou à vapeur ou la turbine hydraulique qui fournit la force motrice. C'est là surtout où la question se complique, et on n'entrevoit guère que deux solutions qui ont toutes les deux des inconvénients : il faut ou bien employer l'excédent de force motrice, quand il y en a, à exécuter d'autres travaux que celui de la transmission télégraphique, ou bien faire usage d'accumulateurs qui fourniraient le courant dans les moments où le service est peu chargé et où les machines sont trop puissantes. Les accumulateurs pourraient être plus avantageux dans cette application que dans toutes celles où ils ont déjà été essayés ; ils n'auraient à fournir qu'un courant assez faible et s'épuiseraient lentement, en conservant une force électro-motrice sensiblement constante.

En somme, la pratique seule peut faire reconnaître s'il existe une solution satisfaisante qui permette de substituer les machines aux piles dans les grands bureaux télégraphiques. Il faut donc désirer avec M. Rothen de voir reprendre des expériences semblables à celles de Calcutta et de Berlin.

CHRONIQUE.

Équivalent électro-chimique de l'argent.

La détermination exacte de l'équivalent électro-chimique de l'argent a une grande importance, car la connaissance de cet équivalent permet de mesurer avec précision l'intensité d'un courant en unités absolues sans avoir à se préoccuper des variations de l'intensité du magnétisme terrestre.

Des expériences très précises ont été faites pour déterminer cet équivalent en Angleterre par lord Raylegh, en Allemagne par M. Kohlrausch et en France par M. Mascart.

Les nombres auxquels ils sont arrivés en dernier lieu diffèrent à peine de 1/500e. Ils sont trouvés par l'action chimique d'un ampère par seconde ou d'un coulomb.

	Argent réduit ou dissous.	Eau.
MM. Kohlrausch.	1^{mg},1183	0^{mg},09325
Raylegh.	1 ,118	0 ,09323
Mascart.	1 ,1156	0 ,09303

Sur la force électromotrice du zinc amalgamé.

Par M. G. Lippmann.

On attribue en général au zinc amalgamé une force électromotrice plus grande que celle du zinc pur. Si l'on plonge une lame de zinc ordinaire et une lame de zinc amalgamé dans une dissolution de sulfate de zinc, on forme un couple dans lequel le zinc amalgamé sert de pôle négatif : le zinc amalgamé se comporte comme le métal le plus oxydable. Tel est du moins le résultat que l'on obtient si l'on opère sans précautions particulières.

Mais, dans un travail récent, M. W. Robb a montré que, si l'on prend soin d'employer du zinc pur, obtenu par voie galvanoplastique, ainsi que des dissolutions de sulfate qui ont

séjourné sur du carbonate de baryte et qui ont été ainsi privées de tout acide libre, le couple zinc-zinc amalgamé ne présente plus de force électromotrice sensible.

Ce résultat négatif, obtenu par M. W. Robb, peut être confirmé *á priori* par le raisonnement suivant, qui est fondé sur le principe de Carnot.

Si le couple zinc-zinc amalgamé avait une force électromotrice déterminée, on pourrait, en fermant le circuit, faire produire au courant qu'il engendre un travail mécanique fini. D'autre part, puisque le zinc amalgamé se comporte comme le métal attaquable, l'effet du courant est de défaire l'amalgame, d'en isoler le mercure, et de transporter le zinc qu'il contenait sur la surface du zinc pur; on pourrait donc, au prix d'un travail infiniment petit, régénérer indéfiniment le couple, en reprenant le zinc ainsi déposé et en le transportant mécaniquement du côté du mercure, où il s'amalgamerait de nouveau. En définitive, on pourrait produire indéfiniment des quantités finies de travail, en ne dépensant à cet effet que le travail insignifiant nécessaire pour transporter le zinc à la main. Or ce fait serait incompatible avec le principe de Carnot. Nous ne disons pas qu'il serait incompatible avec le principe de l'équivalence; car l'amalgamation du zinc produit du froid, de sorte que la chaleur absorbée par cette amalgamation pourrait être l'équivalent exact du travail fourni. C'est même ainsi que M. J. Regnault expliquait le fonctionnement de l'élément par la désamalgamation du zinc. Mais, d'après le principe de Carnot, la transformation de la chaleur en travail ne peut avoir lieu que si en même temps il y a passage de chaleur d'un corps chaud sur un corps froid. En d'autres termes, on ne peut construire un appareil qui produise du travail à la simple condition de produire une quantité équivalente de froid; or la pile zinc-zinc amalgamé serait précisément un appareil de ce genre.

L'élément cadmium, sulfate de cadmium, cadmium amalgamé présente au contraire une force électromotrice sensible. Le cadmium pur s'y dissout et se porte per l'effet du courant sur le cadmium amalgamé. Ici on ne peut plus faire le raisonnement précédent et le principe de Carnot n'est plus applicable. On ne peut en effet régénérer cet élément qu'en défai-

sant l'amalgame de cadmium; or cette opération ne peut se faire mécaniquement, et elle exigerait, pour se faire électriquement, une dépense de travail au moins égale à la production de travail dû au courant. (*Journal de physique.*)

Essais faits à Turin et à Lanza sur la distribution de l'éclairage électrique à grande distance.

Par M. Tresca.

Une exposition internationale d'électricité a lieu en ce moment à Turin, avec attribution d'un prix important, offert par le gouvernement italien et par la ville.

Je suis chargé, par mes collègues du jury de cette exposition, de porter à la connaissance de l'Académie les faits suivants :

MM. Gaulard et Gibbs ont établi entre l'exposition, la station de Lanzo et les stations intermédiaires, un circuit dont la longueur totale, retour compris, est de 80 kilomètres, avec un fil de bronze chromé, de $3^{mm}7$ de diamètre, non recouvert.

Ce fil est destiné au courant alternatif, produit par une machine dynamométrique de Siemens, du type de 30 chevaux, de telle manière que ce courant puisse être utilisé simultanément à divers modes d'éclairage, soit à l'exposition même, soit à la station de Turin, soit à la station terminale de Lanzo, soit enfin dans les stations intermédiaires par sa transformation, en chaque point, des deux facteurs qui constituent son énergie, au moyen de générateurs secondaires, de nouvelle construction, exposés par MM. Gaulard et Gibbs.

Le 25 septembre nous avons constaté, en même temps, le fonctionnement régulier :

1° A l'exposition, des appareils suivants, qui doivent nécessairement être alimentés par des potentiels très différents : 9 lampes Bernstein, 1 lampe Soleil, 1 lampe Siemens, 9 lampes Swan et 5 autres lampes Bernstein à une petite distance :

2° A la station de Turin-Lanzo, distante de 10 kilomètres : 34 lampes Édison de 16 bougies, 48 de 8 bougies et une lampe à arc de Siemens.

Le 29 septembre, l'expérience a été plus concluante encore,

le système étant complété à la station de Lanzo, distante de 40 kilomètres, par le fonctionnement absolument régulier de 24 lampes de Swan, de 100 volts.

Les transformations multiples qu'exige la variété de ces divers modes d'éclairage s'effectuent avec sûreté, et, quoique nous ne soyons pas en mesure de donner encore des chiffres précis, il est parfaitement établi que les générateurs secondaires doivent, au moins entre certaines limites, être considérés comme des transformateurs, à rendement relativement grand, de l'énergie des courants alternatifs.

L'allumage et l'extinction s'obtiennent, sans aucune perturbation, au moyen de simples commutateurs.

Le but principal de cette communication se borne d'ailleurs à constater la réussite complète d'une distribution des différents modes d'éclairage sur un parcours effectif de 30 kilomètres. L'importance seule du fait réalisé demandait à être fixée par une date précise, mais il doit être bien compris qu'il ne s'agit pas ici du transport d'un travail mécanique.

(*Comptes rendus.*)

Sur l'électricité produite par le dégagement des gaz.

Par M. W. Hankel.

Après l'invention de son électromètre condensateur, Volta rechercha, avec Laplace et Lavoisier, si le dégagement des gaz résultant d'une action chimique produit un dégagement d'électricité. Ces expériences furent faites à Paris, en 1781, elles ne donnèrent pas de résultats satisfaisants : les dégagements d'électricité que l'on observe, lors de l'effervescence, sont faibles et irréguliers, du moins en apparence.

M. Hankel a repris ces recherches en se servant de son électromètre à feuilles d'or; en raison de sa faible capacité, jointe à sa grande sensibilité, cet instrument se prête à la recherche de très faibles quantités.

D'après M. Hankel, lorsque l'on verse un acide étendu (acide sulfurique ou chlorhydrique), sur du zinc ou sur du fer, l'hydrogène qui se dégage emporte de l'électricité positive, et il laisse au liquide un excès d'électricité négative : si l'on met un vase de verre isolé, et contenant l'acide, en communication

avec l'électromètre, celui-ci se charge négativement. Tel est le phénomène normal; mais fréquemment on observe un phénomène inverse; l'acide devient positif; d'ordinaire même, après être devenu négatif, l'acide devient positif. Ce changement de signe tient à des perturbations accessoires.

Lorsque des bulles d'hydrogène, au lieu de se dégager vivement, séjournent dans le liquide acide, elles lui cèdent leur charge positive, et ensuite, en se dégageant, elles emportent l'électricité négative du liquide, laissant celui-ci plus positif qu'il n'était. En outre, lorsque l'attaque a duré un certain nombre de minutes et que l'on opère avec du zinc, ce métal se recouvre d'une couche noirâtre, qui forme le pôle positif d'une pile locale dont le zinc est l'élément négatif. Dans ce cas, le gaz qui se dégage emporte de l'électricité négative et le liquide devient positif.

Si donc on verse de l'acide étendu sur de la grenaille de zinc contenu dans un vase de verre isolé, le phénomène est normal, c'est-à-dire que le liquide devient négatif à condition que l'attaque soit vive, que la couche d'acide soit mince, qu'il ne se forme pas d'écume, et que le zinc n'ait pas encore noirci. Si ces conditions ne sont pas ou ne sont plus remplies, le liquide devient positif.

Avec le fer, l'attaque est plus lente et le phénomène électrique plus faible qu'avec le zinc; mais il présente les mêmes particularités. L'attaque d'un carbonate de chaux par l'acide chlorhydrique donne lieu également à un dégagement d'électricité négative; mais ici encore, le phénomène électrique finit ordinairement par changer de signe avec le temps; M. Hankel attribue ce changement de signe à l'accumulation du chlorure de calcium.

Afin de rendre le dégagement des bulles gazeuses plus rapide, M. Hankel emploie le dispositif suivant. Le corps attaqué, zinc, fer, ou carbonate de chaux, a la forme d'une lame inclinée à 45° sur l'horizon et portée par un support isolant. L'acide étendu tombe goutte à goutte sur la lame, glisse en couche mince à sa surface, et s'échappe sous forme de grosses gouttes à son bord inférieur.

Ces gouttes sont recueillies dans une capsule de platine également isolée. On se sert alors de l'électromètre à feuilles d'or, de manière à obtenir la différence de potentiel entre la

lame en question et la capsule de platine. Ici encore, il faut éviter la formation d'écume et opérer avant la formation de la couche noire qui se produit avec le temps à la surface du zinc. (*Annales de Wiedmann.*)

Sur l'inégale résistance électrique des cathodes.

Par M. G. Gore.

Au cours de quelques expériences sur la résistance inégale du dépôt d'un métal sur des cathodes constituées par différents métaux dans la même solution et sous l'influence du même courant, j'ai été amené à rechercher la résistance de cathodes de différents métaux au passage d'un courant.

J'ai pris un électrolyte bon conducteur dans lequel j'ai plongé une feuille de zinc positive et une feuille plus petite négative, constituée par un autre métal ; j'ai relié ces plaques avec un galvanomètre de faible résistance et réduit au minimum toutes les autres résistances du circuit, excepté celle de la plaque négative ; j'ai ensuite effectué une série de mesures relatives à l'intensité du courant des différents couples formés par le zinc et environ douze autres métaux ; dans ces mesures j'avais soin de supprimer la polarisation en remuant le liquide ; j'ai également fait une autre série de mesures des forces électromotrices de ces mêmes couples, toujours en remuant le liquide ; sur ces données j'ai calculé la résistance totale pour chaque cas et ensuite déduit la partie de la résistance causée par le galvanomètre, ainsi que celle du liquide même de la force contre-électromotrice et des actions thermo-électrique et voltaïque à la cathode et à la jonction extérieure. On obtient ainsi des résistances très différentes et quelquefois très grandes qui sont exercée par différents métaux comme cathodes, et ces différences de résistance sont seulement en partie provoquées par le dégagement d'hydrogène et ne peuvent être expliquées *qu'en partie et dans quelques cas seulement* par des actions chimiques ou par absorption des gaz à la cathode.

(*La Lumière électrique.*)

BIBLIOGRAPHIE.

Électricité et magnétisme, par M. Fleeming Jenkin, traduit de l'anglais par MM. E. Berger et Croullebois. — Paris, Gauthiers-Villars, 1885.

M. Berger, directeur-ingénieur des lignes télégraphiques et M. Croullebois, professeur à la Faculté des sciences de Besançon, viennent de faire paraître une traduction de la septième édition du *Traité d'électricité et de magnétisme* de M. Fleeming Jenkin.

Le nom de M. Fleeming Jenkin est bien connu chez nous; on sait la part qu'il a prise à la réception de plusieurs des câbles que le gouvernement français a fait immerger, le rôle important qu'il a joué dans la commission de l'association britannique, chargée, en 1862, de fixer la valeur de l'unité absolue de résistance; les expériences qu'il a faites avec Maxwell pour la détermination de cette unité.

Son traité d'électricité et de magnétisme, dont la première édition remonte à 1860, a eu en Angleterre le plus grand et le plus légitime succès; il était connu seulement en France de quelques électriciens qui en appréciaient toute la valeur et désiraient vivement qu'une traduction permît de le mettre entre les mains de tous ceux qui s'intéressent à la science de l'électricité.

La cause de ce grand succès tient à la netteté avec laquelle l'auteur expose ses idées, à l'absence de calculs compliqués qui ne nuit pas à la rigueur des démonstrations, et par conséquent à la facilité de lecture qui en résulte.

Les premiers chapitres sont consacrés aux notions élémentaires de la quantité d'électricité, du potentiel, du courant, de la résistance et aux mesures électrostatiques. L'étude du magnétisme, des mesures électro-magnétiques et des unités est exposée dans les chapitres suivants; puis viennent la

théorie chimique de la force électromotrice, la thermo-électricité, les appareils de mesure.

L'ouvrage est complété par les applications de l'électricité: la télégraphie électrique (appareils, vitesse de transmission, construction des lignes, recherche des dérangements), l'électro-métallurgie, l'horlogerie électrique, etc.; puis par une courte étude sur l'électricité atmosphérique et terrestre et la boussole marine. Un chapitre ajouté aux éditions précédentes traite des téléphones et des microphones.

MM. Berger et Croullebois ont ajouté à l'ouvrage anglais un appendice qui occupe le quart du volume, et qui contient des notes sur divers points de théorie exposés un peu trop sommairement par M. Jenkin : lois de Coulomb, électromètre de Thomson, théorèmes sur le potentiel et les tubes de force, lois de l'énergie et de l'influence électrique, etc.

Le livre de M. Fleeming Jenkin est un peu incomplet au point de vue de la télégraphie. Il n'y est fait, par exemple, aucune mention des appareils à transmission rapide Mayer et Baudot; de l'appareil automatique de Wheatstone; du système de M. Van Rysselberghe pour la transmission simultanée par le téléphone et par les appareils ordinaires. Il est regrettable que les traducteurs n'aient pas ajouté quelques notes pour indiquer, au moins sommairement, l'état exact de la science télégraphique; on peut, il est vrai, le trouver dans le *Manuel de télégraphie électrique* de Culley, traduit par l'un des auteurs du présent livre, M. Berger, et par M. Bardonnaut, mais la traduction du livre de M. Jenkin s'adresse évidemment à un public un peu différent.

Enfin, nous avons été surpris de voir que les traducteurs ne mentionnent pas, dans un livre qui porte la date de 1885, les noms des unités électriques absolues tels qu'ils ont été adoptés au Congrès international de 1881. On sait que ces noms sont :

L'ohm.	pour l'unité	de résistance;
Le volt.	—	de force électromotrice;
L'ampère.	—	d'intensité;
Le coulomb.	—	de quantité;
Et le farad	—	de capacité électrostatique.

Dans la traduction de MM. Berger et Croullebois, on trouve :

Pour l'unité de résistance.	l'ohm ;
— de force électromotrice.	le volt ;
— de capacité.	le farad ;
— d'intensité.	le farad par seconde ;
— de quantité.	le farad par volt.

Or, ces désignations, auxquelles on a renoncé avec raison pour l'intensité et la quantité, sont défectueuses, car elles semblent faire dépendre la mesure de l'intensité et de la quantité de celle de la capacité, tandis qu'au contraire l'intensité et la quantité se mesurent directement au moyen de la boussole de tangentes, et que la capacité d'un condensateur se déduit de la quantité d'électricité qu'il prend lorsqu'une force électromotrice connue est interposée entre ses armatures.

On peut supposer que la 7e édition du traité de M. Jenkin est antérieure à 1881 ; mais MM. Berger et Croullebois, s'ils voulaient respecter le texte de l'auteur, auraient bien fait d'ajouter une note pour faire connaître les décisions prises par la Conférence internationale des électriciens, tant sur les noms des unités que sur leur valeur réelle, qui a été fixée le 29 avril 1884, dans une séance à laquelle assistait M. Fleeming Jenkin lui-même.

Traité d'électricité et de magnétisme de J. Clerk Maxwel. M. A., traduit de l'anglais par M. Séligmann-Lui, avec notes et éclaircissements par MM. Cornu, Potier et Sarrau. Paris, Gauthier-Villars.

Depuis longtemps on attendait en France avec une vive impatience une traduction de l'important traité d'électricité et de magnétisme de Maxwell. L'édition anglaise était bien connue, mais la concision du texte, l'introduction de quelques théories encore peu connues (théories des quaternions, des sphériques harmoniques, etc.) en rendaient la lecture difficile, surtout dans une langue étrangère.

Des notes ajoutées au texte, que le traducteur M. Séligmann-Lui a fidèlement respecté, permettront à tous ceux

qui ont un peu l'habitude du calcul de comprendre et de suivre les déductions théoriques de Clerk Maxwel.

Le premier fascicule, comprenant 126 pages, vient de paraître, nous espérons que les suivants ne tarderont pas; nous les attendrons pour faire une analyse complète de l'ouvrage.

Agenda Dunod. — Télégraphes et postes; électricité. Prix : 1 fr. 50.

La librairie Dunod vient de faire paraître un nouvel Agenda des télégraphes et postes, destiné à servir de vade-mecum à tous ceux qui ont à s'occuper soit du service télégraphique ou postal, soit des applications si nombreuses de l'électricité.

Cet agenda diffère assez notablement des précédents : la partie qui a trait aux correspondances postales et télégraphiques, aux tarifs, aux abonnements, etc., a été complétée, mais celle qui est relative aux transports a été supprimée, comme appartenant plutôt à l'agenda des chemins de fer. Les parties qui se rapportent à l'étude de l'électricité ont reçu d'assez grands développements, empruntés au cours de mesure électrique, professé par M. Raynaud à l'école supérieure de télégraphie. On y trouve énoncés clairement et en peu de mots les principes de la mesure électrique, l'indication des unités absolues et des unités adoptées par la conférence internationale de 1884, les procédés de mesure des diverses grandeurs avec les formules qui servent à les déterminer, et de nombreux tableaux des constantes dont on peut avoir à faire usage; la description sommaire du matériel télégraphique employé soit dans les bureaux, soit pour la construction des lignes aériennes, souterraines et sous-marines; enfin les formules et tables usuelles d'arithmétique, de géométrie et de trigonométrie dont on a à faire un fréquent usage.

B.

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1884 **Septembre-Octobre**

LE BUREAU D'ÉTALONNEMENT
DES RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES
AU MINISTÈRE DES POSTES ET TÉLÉGRAPHES

Pour réaliser le vœu émis par la conférence internationale des unités électriques relativement à la construction d'étalons de résistance (*), M. le ministre des postes et télégraphes a décidé l'établissement, au ministère, d'un bureau d'étalonnement officiel des résistances. Confiant à M. Benoit, adjoint au bureau international des poids et mesures, la mission de construire des étalons prototypes dont la valeur représente exactement celle de l'ohm légal, il m'a chargé d'établir sous la dépendance et la surveillance de M. le direc-

(*) La Commission recommande la construction d'étalons primaires, en mercure, conformes à la résolution précédemment adoptée (*définition de l'ohm légal*), et, concurremment, l'emploi d'échelles de résistances secondaires en alliages solides, qui seront fréquemment comparées entre elles et avec l'étalon primaire. — Séance du 1er mai 1884. (*Extrait du procès-verbal.*)



teur de l'école supérieure de télégraphie, une installation de mesures électriques capable de constituer ce bureau.

M. Benoit a bien voulu se charger du soin d'expliquer, dans un autre article de cette publication, par quels longs travaux et quelles délicates mesures, il a pu construire quatre étalons d'une exactitude presque rigoureuse. Je n'ai l'intention de décrire ici que l'installation du bureau d'étalonnement, les appareils qui le constituent et les méthodes de comparaison qui devront y être appliquées.

L'intention de M. le ministre, en créant ce bureau d'étalonnement, est de mettre à la disposition de l'administration et du public les moyens pratiques de vérifier l'exactitude d'un étalon de résistance; c'est dans l'ordre des mesures électriques une institution tout à fait comparable à celle du bureau international des poids et mesures dont l'observatoire est à Breteuil. Le bureau de Breteuil conserve des mètres et des kilogrammes types et compare à ces étalons fondamentaux les mètres et les kilogrammes qui sont soumis à son contrôle. De même le bureau d'étalonnement du ministère conservera les étalons fondamentaux de résistance construits par M. Benoit et leur comparera les bobines à vérifier. Les bobines qui lui seront confiées soit par l'administration, soit par des particuliers, sortiront de ses mains avec un certificat officiel indiquant leur véritable valeur et le degré de précision avec laquelle cette valeur a été déterminée.

L'installation du bureau d'étalonnement doit donc comprendre deux parties essentielles : une collection d'étalons rigoureusement connus et un cabinet de mesures.

La collection d'étalons que nous aurons à notre disposition se composera de trois catégories différentes de résistances :

1° Les étalons fondamentaux. Ce sont des tubes en verre droits dont toutes les dimensions ont été étudiées et qui présentent, pleins de mercure, une résistance mathématiquement déterminée. Ces étalons, au nombre de quatre, ont été construits par M. Benoit. Leur étude et la détermination de leurs dimensions exactes forment le sujet d'un article spécial acompagnant celui-ci. Nous n'en dirons donc rien ici.

2° Les étalons secondaires en mercure. Ces étalons sont constitués par des tubes de verre repliés huit ou six fois sur eux-mêmes et aboutissant à leurs extrémités dans deux flacons pleins de mercure. Ces tubes sont de dimensions géométriques quelconques et ont été ajustés et étalonnés par comparaison avec les quatre prototypes. Ils offrent le double avantage d'être en mercure, ce qui les rend toujours physiquement comparables à eux-mêmes, et de présenter une forme qui laisse parfaitement mesurer leur température. Ils sont d'ailleurs facilement transportables : leur seul inconvénient est leur fragilité.

Dans toutes les mesures importantes, ces étalons secondaires remplaceraient les prototypes dont la valeur scientifique est trop grande pour qu'ils puissent servir d'étalons pratiques. Dans les mesures courantes, ces étalons secondaires seraient eux-mêmes remplacés par des bobines métalliques appartenant à la catégorie suivante.

3° Les étalons pratiques constitués par des bobines en métal.

La question de ces étalons métalliques est très déli-

cate et n'a certainement point été comprise par les divers constructeurs qui en ont jusqu'à présent livré dans le commerce. La qualité la plus importante que doive présenter un étalon de résistance est de pouvoir prendre rapidement une température uniforme et rigoureusement connue. C'est précisément cette qualité que les étalons métalliques n'ont presque jamais. Les ohms de l'association britannique, par exemple, sont noyés dans une masse de paraffine qui les préserve parfaitement des variations de la température ambiante, si parfaitement même que la température de la bobine est absolument inconnue à plusieurs degrés près. Les unités de Siemens, au contraire, formées par un fil libre à l'intérieur d'une boîte de bois, se mettent rapidement en équilibre de température, mais comme il est impossible de les plonger dans un bain, il est également impossible d'admettre que leur température reste la même pendant toute la durée d'une mesure.

Les étalons métalliques qui appartiendront à la collection du bureau ont été construits par M. Carpentier d'après deux modèles nouveaux. Le premier de ces modèles, celui que M. Carpentier construit couramment aujourd'hui, se compose d'une bobine de très gros fil, suspendue librement à l'intérieur d'une boîte métallique dont la paroi est garnie intérieurement d'une très épaisse couche de paraffine. Un thermomètre pénètre par un trou dans la boîte, au centre de la bobine et mesure la température de l'air intérieur qui certainement est identique à celle du fil. La boîte peut être immergée dans un bain.

Dans le second modèle, la bobine en fil nu est dans une boîte métallique remplie d'un liquide isolant. Un thermomètre prend la température du liquide. Ce mo-

dèle est encore à l'essai ; il n'a pas été suffisamment étudié. Il semble devoir donner de bons résultats

On a pris la précaution de construire en très gros fil de maillechort les bobines de ces divers étalons. De cette manière, les petites variations de température sont bien moins sensibles et le réglage exact s'obtient beaucoup plus facilement.

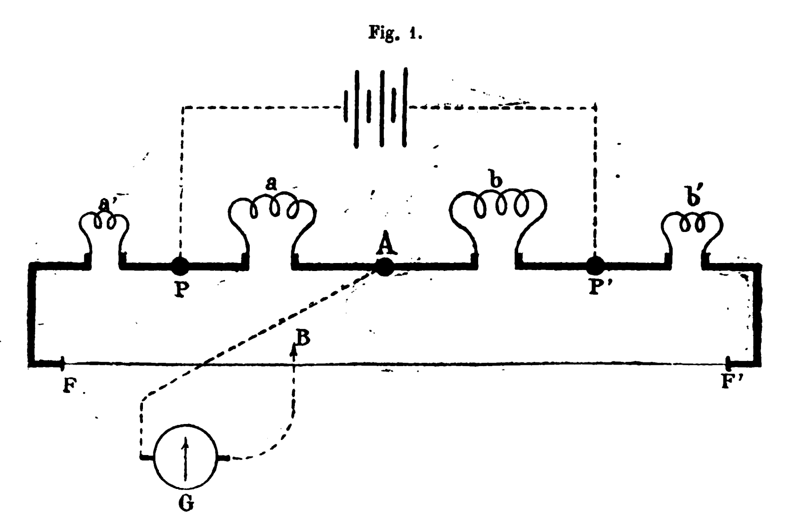
Le cabinet de mesures électriques comprend l'installation aussi complète que possible d'un pont de Wheatstone. C'est principalement sur cette installation que j'ai l'intention de donner ici quelques détails circonstanciés.

Une mesure quelconque ne peut se faire avec une précision réellement grande que dans le cas de la comparaison de deux quantités très voisines de l'égalité. Les rapports de deux grandeurs s'obtiennent pratiquement avec une grande difficulté, aussi doit-on chercher à substituer à la détermination d'un rapport la mesure d'une très petite différence : on compare d'abord un certain nombre de grandeurs très peu différentes ; leurs petites différences sont évaluées avec des erreurs absolues très petites, et l'erreur relative commise sur la comparaison des deux grandeurs est extrêmement petite. Après avoir fait ces premières comparaisons à égalité, il peut devenir possible d'associer un certain nombre des quantités ainsi déterminées et de comparer leur somme avec d'autres quantités. En procédant successivement de la même manière, on conçoit qu'il soit possible de comparer entre elles deux quantités présentant un rapport quelconque.

C'est précisément cette méthode qui sera appliquée pour les comparaisons effectuées au bureau d'étalon-

nement; notre installation de mesures ne nous permettra de comparer que des résistances très peu différentes, mais elle nous donnera leurs différences avec une extrême précision. Au début, nous serons montés pour étalonner des unités de résistance, c'est-à-dire des bobines ayant une valeur nominale de 1 ohm. Plus tard, lorsque la question des contacts entre deux résistances distinctes aura été suffisamment étudiée, il nous sera possible d'associer dix bobines d'un ohm et de comparer à leur somme une bobine voisine de 10 ohms. Avec dix bobines de 10 ohms nous étalonnerons les bobines de 100 ohms et ainsi de suite. Il nous sera donc théoriquement possible d'étalonner avec une précision très grande des caisses de résistances renfermant les bobines les plus variées.

Fig. 1.



Notre but étant donc de comparer des résistances dont le rapport est voisin de l'unité, nous avons adopté une méthode indiquée, je crois, par Fleeming Jenkin.

C'est une sorte de méthode de substitution tout à fait comparable à celle de la double pesée employée pour les mesures de poids.

Supposons que la *fig.* 1 représente le schéma d'un pont à fil divisé. a b a' b' sont les quatre branches du pont, FF′ est le fil, les deux pôles de la pile sont en P et P′. Le galvanomètre est fixé d'une part en A, d'autre part en B, au chariot mobile le long du fil; soit x le nombre de divisions du fil comptées de F en B et e le nombre total des divisions du fil entre F et F′; soit m la résistance d'une division du fil.

On place en a, b et b' trois résistances invariables, telles que le rapport $\frac{a}{b}$ soit très voisin de l'unité et que la résistance b' ait une valeur voisine de celle des étalons à comparer.

On place d'abord en a' une des résistances à comparer. Soit x la division lue sur le fil au moment de l'équilibre. La proportionnalité des branches du pont donne l'équation

$$(1) \qquad \frac{a}{b} = \frac{a' + mx}{b' + (l - x)m},$$

à la résistance a' on substitue la résistance a'_1, l'équation devient, x_1 étant la nouvelle lecture :

$$(2) \qquad \frac{a}{b} = \frac{a'_1 + mx_1}{b' + (l - x_1)^m},$$

la combinaison de ces trois équations donne

$$(3) \qquad \frac{a}{b} = \frac{(a' - a'_1) - m(x_1 - x)}{m(x_1 - x)},$$

$$(4) \qquad a' - a'_1 = m(x_1 - x)\left(\frac{a}{b} + 1\right),$$

l'équation (4) exprime la différence entre les deux

quantités à comparer, en fonction de la différence des lectures x_1 et x et du rapport des deux branches a et b du pont.

Ce rapport $\frac{a}{b}$ serait difficile à mesurer et sa constance pourrait n'être pas parfaite ; pour s'en débarrasser, il suffit de disposer les deux résistances a et b de telle façon que l'on puisse les permuter.

Supposons ces deux résistances permutées, et soient y et y_1 les deux lectures faites sur le fil dans les cas où la quatrième branche est constituée par a' ou a'_1 ; on obtiendra évidemment une équation (3') semblable à l'équatien (3) :

$$(3') \qquad \frac{b}{a} = \frac{(a' - a'_1) - m(y_1 - y)}{m(y_1 - y)},$$

Si maintenant nous multiplions membre à membre les équations (3) et (3'), il vient :

$$a' - a'_1 = m[(x_1 - x) + (y_1 - y)],$$

et en prenant pour unité la résistance m,

$$a' - a'_1 = (x_1 - x) + (y_1 - y).$$

Cette formule exprime la différence des deux résistances en fonction seulement de deux longueurs de fil $x_1 - x$ et $y_1 - y$. Si les deux résistances a' et a_1' sont voisines et si d'autre part le rapport $\frac{a}{b}$ est très voisin de l'unité, les quatre lectures x, x_1, y, y_1 différeront très peu et la différence des deux résistances sera exprimée par la résistance d'une très petite longueur de fil. Si le fil du pont est peu résistant, cette longueur pourra augmenter sans trop d'inconvénient, à la condition que le fil soit bien calibré. Dans ce cas on peut se

rendre compte de l'extrême sensibilité de la méthode: Supposons, ce qui est le cas de l'installation du pont du bureau, que le fil du pont ait une résistance de $0^{\omega},00009$ par millimètre et que les résistances à comparer soient de 1 ohm; avec un galvanomètre un peu sensible, la lecture peut se faire au pont sûrement au 1/10 de millimètre. La différence entre les deux étalons peut donc être mesurée avec une erreur absolue certainement plus petite que $0^{\omega},00001$ et par suite la comparaison des deux étalons s'obtient avec une erreur relative moindre que 1/100 000.

Je ne m'étendrai point ici sur les conditions de sensibilité maxima d'une installation de pont de Wheatstone. Je rappellerai simplement qu'il a été démontré que la sensibilité maxima correspond au cas où les quatre branches du pont ont une même résistance et où le galvanomètre et la pile ont l'un et l'autre la même résistance que chacune des branches.

Pour réaliser cette condition, on a donné aux deux branches de comparaison a et b la résistance d'un ohm et le galvanomètre a été construit de manière à présenter lui-même à peu près la résistance d'un ohm. La pile est formée de 10 éléments callaud associés en surface. Sa résistance est aussi voisine d'un ohm.

Pour que les deux équations (3) et (3') soient simultanées et puissent être comparées, il est indispensable que le rapport $\frac{a}{b}$ soit resté indentique à lui-même pendant les deux séries d'observations. Il faut aussi que la troisième branche b' n'ait point varié. Cette condition oblige à placer les résistances a, b, b' à l'abri des perturbations apportées par les variations de la température ambiante. On verra plus loin dans la des-

cription des appareils comment cette précaution a été réalisée.

Une autre cause d'erreur à éviter est celle provenant de l'existence dans tout le circuit du pont de petites forces électromotrices parasites. La présence de ces forces électromotrice fausse les lectures. Il est certain que si leur valeur était constante, les quatre lectures seraient entachées d'une erreur identique qui disparaîtrait dans la formule finale. Mais ces forces varient continuellement. Pour les éliminer, il suffit de répéter chaque lecture en renversant les pôles de la pile, et de prendre la moyenne des deux nombres ainsi obtenus.

Il est aisé de se convaincre que, en quelque partie du circuit que se trouve le siège de ces forces électromotrices, le fait du changement du courant change le signe de l'erreur introduite. La moyenne sera donc exacte. Comme il est d'ailleurs permis d'admettre que ces forces électromotrices restent sensiblement constantes pendant l'intervalle de temps très court qui sépare les deux lectures, on voit que leur action est tout à fait éliminée.

La seule constante du pont qui intervienne dans la formule finale et qui doive être mesurée, est la résistance d'un millimètre du fil. En somme la valeur de cette résistance n'intervenant que dans la détermination d'une différence fort petite, sa mesure n'a point besoin d'être rigoureuse.

On peut à la rigueur se contenter parfaitement de mesurer avec un autre pont quelconque, la résistance de la totalité du fil et de diviser cette résistance par la longueur du fil. Néanmoins, pour la série des comparaisons qui a été faite au laboratoire de Bre-

teuil, M. Benoit a cru devoir employer une méthode beaucoup plus précise dont je donnerai plus loin la description. En même temps M. Benoit a étudié la régularité du fil et a déterminé la correction à introduire à la valeur de la résistance du millimètre de fil suivant les parties différentes de l'échelle où ce millimètre était pris. J'indiquerai également plus loin le principe de la méthode employée pour ce calibrage.

Le pont à fil a été étudié et construit avec un très grand soin par M. Carpentier. Il est d'un modèle entièrement nouveau.

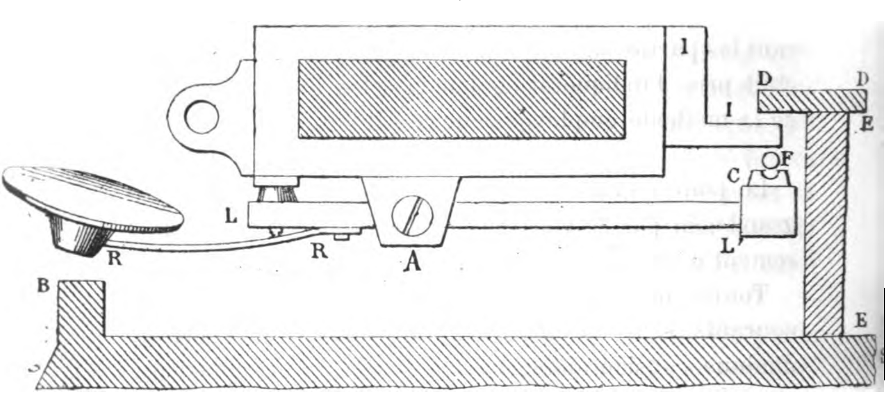
Toutes les pièces métalliques traversées par les courants sont en laiton. L'emploi d'un seul métal diminue considérablement les forces électromotrices parasites. Le bâti est formé de très grosses barres de cuivre supportées au-dessus d'un socle en acajou par des colonnes en ébonite. Tous les contacts entre les diverses pièces de ce bâti et les bobines résistances se font à l'aide de godets en cuivre vissés aux barres du pont et remplis de mercure.

Le fil est tendu à trois centimètres environ au-dessus du socle. Il est serré à ses deux extrémités entre des mâchoires que l'on peut dévisser pour régler sa tension. Une planchette en acajou le protège en arrière du côté des godets de mercure et le préserve de toute amalgamation. Une seconde planchette posée à plat sur la première recouvre le fil et le garantit en dessus; cette planchette peut se dévisser lorsqu'il est nécessaire de visiter et de nettoyer le fil. Sur la *fig.* 2, ce système des deux planchettes est représenté par une coupe en DDEE.

En avant du fil, une forte règle métallique divisée,

supportée à ses deux extrémités, sert de guide à un très robuste chariot à glissière (*fig.* 2). Ce chariot, parfaitement ajusté à la règle, peut se déplacer le long de

Fig. 2.



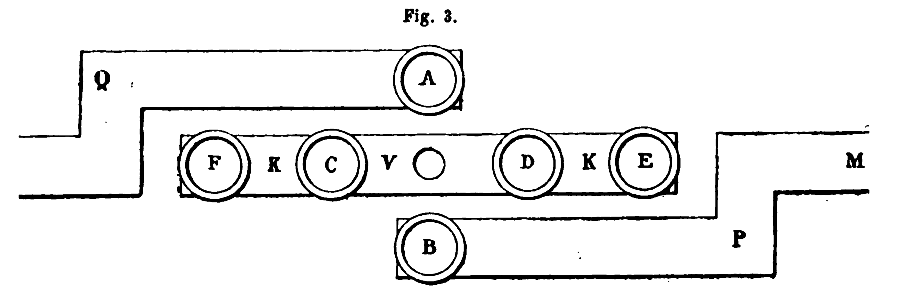
la division. Il entraîne avec lui un vernier et une vis micrométrique à tête molletée dont l'écrou porte une mâchoire de serrage commandée par une vis de pression. A sa partie inférieure il supporte le contact du fil. Pour chercher la position d'équilibre, on déplace d'abord le chariot à la main, puis une vis de pression le fixe et la vis micrométrique donne au contact de très petits déplacements mesurés à l'aide du vernier; la *fig.* 2 représente le profil de ce chariot en supposant enlevés la vis micrométrique et le système de serrage.

Le contact du fil se compose d'un petit couteau métallique C portant une encoche ronde. Ce couteau est porté à l'extrémité d'un levier LL' mobile autour d'un axe horizontal A. L'autre extrémité du levier porte un ressort R auquel est attaché le bouton de pression. Pour donner le contact, on appuie sur le bouton et on l'amène à buter contre une planchette d'acajou B por-

tée par le socle S de l'instrument. Le couteau s'appuie alors sur le fil F avec une pression constante réglée une fois pour toutes par l'élasticité du ressort et par la hauteur de la planchette buttoir. Une pièce en ivoire I accompagne le contact et sert d'appui au fil.

Pour permettre de permuter vivement les deux résistances de proportion (a et b des formules), M. Carpentier a disposé au centre du pont un commutateur à mercure. La *fig.* 3 donne le plan de ce commutateur.

Fig. 3.



Les deux barres centrales du pont M et N sont déviées en P et Q et portent à leurs extrémités des godets métalliques A et B.

Entre les deux barres se trouve une troisième barre K communiquant avec une des bornes du galvanomètre (A *fig.* 1). La barre K porte 4 godets: F et E en cuivre, G et D en ébonite.

En F et G plongent les extrémités de la résistance a, en D et E les extrémités de la résistance b. Au-dessus des quatre godets A, B, C, D peut pivoter une plaque prismatique en ébonite munie de deux ponts métalliques. Suivant que ces deux ponts relient entre eux G et A et B et D, ou au contraire A et D et G et B, la résistance a se trouve à droite ou à gauche du pont.

La plaque en ébonite qui forme la pièce mobile du

commutateur est portée par une tige verticale métallique, mobile dans une sorte de crapaudine V. Pour permuter *a* et *b*, on soulève la tige, ce qui retire les ponts des godets, puis on lui fait effectuer un déplacement d'un quart de circonférence et on la laisse retomber.

La permutation se fait ainsi rapidement et très sûrement. Deux chiffres placés sur deux faces du prisme d'ébonite permettent de reconnaître à première vue dans quelle position se trouve le commutateur.

La partie graduée de la règle métallique est de 1 mètre et est divisée en millimètres. Le vernier est divisé au vingtième. Une disposition spéciale permet de déplacer légèrement la règle dans le sens longitudinal pour amener son milieu géométrique à coïncider avec le milieu électrique du fil. Mais cette disposition qui pourrait être précieuse dans le cas où le pont serait destiné à mesurer des rapports, est tout à fait inutile pour mesurer des différences.

Le pont est complété au moyen de trois résistances équilibrantes constituant les branches *a*, *b* et *b'*.

Les deux branches de proportion *a* et *b* devant rester dans un rapport constant, ont été disposées de manière à éprouver simultanément, de la température, les mêmes variations. Elles sont constituées par deux gros fils de maillechort enroulés sur une même bobine. Ces fils de 3 millimètres environ de diamètre sont enroulés dans la quadruple gorge d'une hélice à quatre filets creux tracée sur un cylindre de bois paraffiné. Cette bobine est suspendue dans un énorme cylindre de laiton et noyée dans plusieurs kilogrammes de paraffine. Le cylindre métallique servant de boîte à cette double bobine a 25 centimètres de diamètre et 15 de hauteur.

Les quatre extrémités des deux fils aboutissent à quatre grosses tiges de cuivre de 13 millimètres de diamètre qui sortent de la boîte et, après deux courbures, viennent plonger dans les quatre godets du commutateur.

Les dimensions du fil employé pour ces résistances et surtout la masse énorme de paraffine qui les enveloppe, les mettent presque complètement à l'abri des variations de la température ambiante.

La troisième résistance b' est construite de la même manière, mais elle est seule dans une boîte cylindrique de $15^{cm},5$ de diamètre également remplie de paraffine.

Je ne dirai rien du galvanomètre complétant l'installation du pont. Le bureau en aura deux à sa disposition. L'un est un galvanomètre astatique construit par M. Carpentier d'après son modèle ordinaire. Il a une résistance d'un ohm environ.

L'autre est un petit galvanomètre à deux bobines parallèles, non astatique. Chacune de ces bobines a environ 7 ohms de résistance ; on peut, en les accouplant différemment, obtenir un système galvanométrique présentant $3^{\omega},5$, 7^{ω} ou 15^{ω} de résistance.

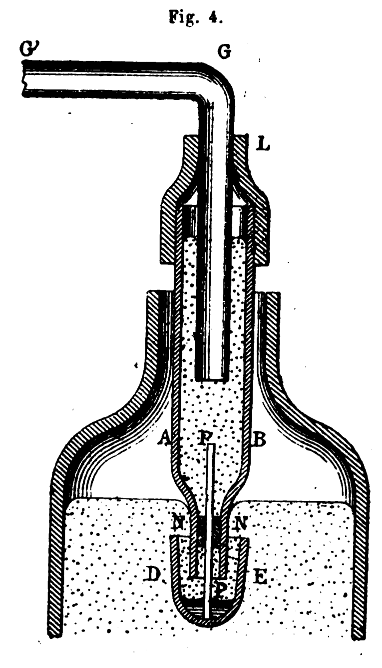
L'inversion des pôles de la pile s'obtient au moyen d'une clef d'inversion ordinaire.

Trois des branches du pont restent occupées par des résistances invariables. La quatrième, au contraire, reçoit alternativement les étalons à comparer. Les extrémités de ces étalons plongent dans des godets de mercure, et la communication s'établit entre ces godets et ceux du pont au moyen de deux grosses barres métalliques à large section. Ces deux barres servent pour toutes les mesures, et si les résistances de leurs con-

tacts restent les mêmes, leur résistance propre n'a pas à être déterminée.

Les extrémités de ces barres devant plonger dans des godets de mercure communiquant avec le mercure des étalons en verre, il était impossible de les constituer en métal soluble capable d'altérer la pureté de ce mercure. Des expériences précises que nous avons faites à ce sujet avec M. Benoit, nous ont démontré que le fait de plonger quelques instants seulement, une tige de cuivre dans du mercure, suffit à altérer notablement la résistance de ce mercure. D'autre part, des tiges formées d'un métal amalgamable n'assureraient pas un contact constant. Pour éliminer ces diverses difficultés, M. Benoit a imaginé une forme de contacts dont la *fig.* 4 représente la coupe.

Fig. 4.



Une barre de cuivre GG′ se recourbe en G et pénètre à frottement dur dans un bouchon de caoutchouc L qui ferme un tube de verre AB resserré à sa partie inférieure ; ce tube de verre est fermé en MN par un diaphragme de fer que traverse une tige de platine P. Cette tige est elle-même mastiquée à un très petit godet en verre DE. La partie supérieure du tube AB

remplie de mercure établit la communication entre la tige de cuivre et le platine. La partie inférieure du tube a été remplie de mercure dans le vide et reste pleine, ainsi que le petit godet DE, quels que soient les déplacements donnés au système. C'est ce godet DE que l'on plonge dans le mercure des étalons.

Grâce à cette disposition, le cuivre des tiges ne peut salir que le mercure renfermé dans le compartiment supérieur du tube. Le mercure du godet reste propre et la communication entre les deux chambres est assurée d'une manière constante par une tige de platine *toujours* plongée dans du mercure.

Pendant les mesures, les étalons à comparer sont autant que possible maintenus dans une même auge contenant une masse d'eau assez considérable. Il est utile d'agiter fréquemment cette masse d'eau pour maintenir régulier l'équilibre de température.

Pour éliminer la petite marche de température qu'il est impossible d'éviter dans le bain des étalons, on doit avoir soin de mesurer plusieurs fois et alternativement les résistances des deux étalons à comparer. Ces séries de mesures devront toujours être faites en nombre impair, de telle sorte que le même étalon soit mesuré le premier et le dernier. Quand on prend cette précaution, les deux moyennes des lectures sont absolument comparables.

En général une comparaison complète comprendra cinq séries de quatre lectures chacune. Soit, par exemple, à comparer deux étalons A et B, on placera successivement dans la quatrième branche du pont A, B, A, B et enfin A. Chaque série comprendra les quatre lectures suivantes :

1° Première position du commutateur			courant direct.
2°	Id.	id.	courant inverse.
3° Deuxième position du commutateur			courant direct.
4°	Id.	id.	courant inverse.

Une comparaison complète comprend donc vingt lectures différentes.

Le local affecté à l'installation du bureau d'étalonnement est une des salles de la nouvelle école supérieure de télégraphie, au 103 de la rue de Grenelle. M. le directeur de l'école a bien voulu mettre cette salle à notre disposition, ainsi que les ressources que peut nous offrir le voisinage du cabinet et de l'atelier de l'école. Le bureau est d'ailleurs confié à sa haute direction.

Détermination de la résistance d'une division du fil. — On mesure par la méthode indiquée précédemment une différence de résistances connue.

Pour obtenir cette différence connue, on prend un certain nombre de bobines ayant à peu près un ohm et on les compare toutes à un étalon. Une première approximation grossière de la résistance d'un millimètre du fil donne très sensiblement leurs valeurs. On dispose toutes ces bobines en tension les unes sur les autres, et on mesure à l'aide du pont à fil la différence entre la résistance de l'étalon seul et celle de l'étalon placé en dérivation sur cet ensemble. Cette différence peut être calculée d'après les mesures précédentes, et se trouve représentée par la résistance d'une certaine longueur du fil. Si l'on veut une précision plus grande encore, on peut introduire la valeur ainsi déterminée pour le millimètre dans la mesure des diverses bobines et en déduire une troisième approximation.

Dans le courant des mesures faites à Breteuil, M. Benoit a déterminé de cette manière la valeur d'un

millimètre de son pont en plaçant 10 bobines d'un ohm en dérivation sur une onzième.

Calibrage du fil. — M. Benoit a étudié le diamètre du fil du pont en différents points en employant une méthode identique à celle qui lui sert pour le calibrage de ses thermomètres. Je n'indiquerai ici que le principe même de la méthode : on construit une petite bobine dont la résistance est égale à une certaine longueur du pont, 20 centimètres, par exemple, et on mesure successivement la résistance de cette bobine en employant des régions différentes du fil. On applique aux résultats ainsi obtenus le même calcul qui sert à obtenir le calibrage d'un tube de thermomètre après avoir mesuré les longueurs d'une même colonne de mercure promenée dans diverses régions de ce tube.

Supposons que dans l'installation du pont telle qu'elle a été décrite précédemment, on remplace les deux branches a et b fixes par deux branches variables. Plaçons ensuite en a' une petite bobine ayant à peu près la résistance de 20 centimètres du fil du pont et bouchons l'intervalle b' par une résistance nulle. Si f est la résistance de la petite bobine, x la division lue sur le fil, on aura

$$\frac{a}{b} = \frac{f+x}{l-x},$$

plaçons f en b' et fermons a', y étant la nouvelle lecture :

$$\frac{a}{b} = \frac{y}{l-y+f},$$

d'où

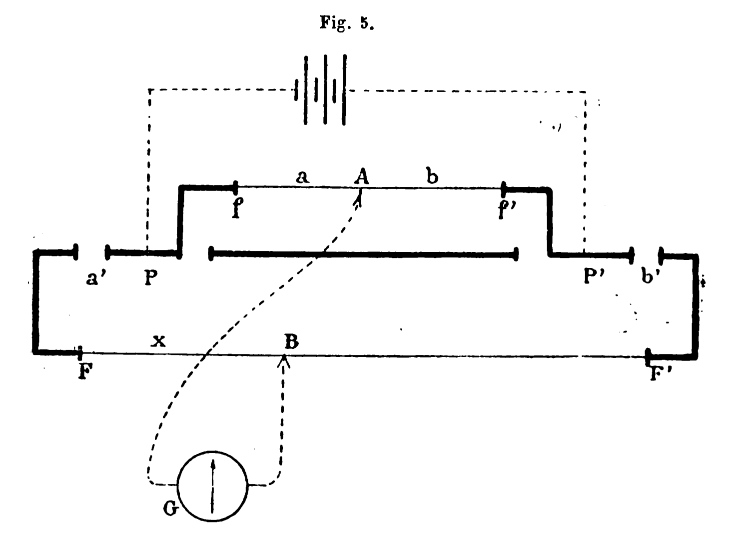
$$\frac{a}{a+b} = \frac{f+x}{f+l} = \frac{y}{f+l}, \quad f+x=y, \quad f=y-x,$$

la longueur de fil comprise entre y et x a donc la même résistance que f.

Si maintenant nous faisons varier le rapport $\frac{a}{b}$, le point x se déplacera et on mesurera à partir d'un nouveau point une autre longueur de fil de résistance égale à f.

Le moyen pratique de faire varier progressivement le rapport $\frac{a}{b}$ consiste à prendre pour ces deux résistances le fil d'un second pont. L'expérience est disposée ainsi que l'indique la *fig.* 5. Le second fil ff' le

Fig. 5.



long duquel se meut un curseur donne un rapport $\frac{a}{b}$ pouvant prendre toutes les valeurs possibles.

Les bobines f employées par M. Benoit étaient au nombre de 4. Leurs résistances représentaient sensiblement celles de 20 centimètres, 40, 60 et 80 centimètres du pont à fil.

F. DE NERVILLE.

CONSTRUCTION

D'ÉTALONS PROTOTYPES

DE L'OHM LÉGAL

Par J. René BENOIT

A la suite de la session de 1882 de la Conférence internationale des unités électriques, et pour répondre à son programme, M. Mascart organisa une série d'études, auxquelles il voulut bien m'associer, ainsi que M. de Nerville, comprenant tous les éléments nécessaires pour déterminer les dimensions de la colonne de mercure à zéro qui représente l'unité théorique de résistance (*). Ma part de collaboration, dans cette recherche très générale, avait consisté essentiellement à construire des étalons mercuriels exactement définis, que nous avons comparés ensuite à un étalon connu de l'ohm de l'Association britannique. Je me suis trouvé ainsi préparé à accepter la mission dont m'a honoré M. le Ministre des postes et télégraphes, lorsque, après la décision de la conférence de 1884 qui fixait la valeur de l'*ohm légal* (**), il m'a proposé de construire, pour

(*) *Résumé d'expériences sur la détermination de l'ohm et de sa valeur en colonne mercurielle*, par MM. Mascart, de Nerville et R. Benoit. Paris, Gauthiers-Villars, 1884.

(**) « L'ohm légal est la résistance d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 106 centimètres de longueur, à la température de la glace fondante. » (*Conférence internationale pour la détermination des unités électriques*. Deuxième session. Procès-verbaux, p. 15.)

son administration, quelques étalons de mercure représentatifs de cette nouvelle unité. Ce travail a été exécuté, dans des conditions particulièrement favorables, au Bureau international des Poids et Mesures : grâce à la bienveillante autorisation du Comité international qui a la haute direction de cet établissement, j'ai pu mettre à contribution, pour le faire, les ressources qui s'y trouvaient réunies entre mes mains; j'ai eu ainsi à ma disposition, non seulement une collection d'appareils de précision de premier ordre, mais en outre des termes de comparaison, pour les mesures de longueurs et de poids, bien étudiés et exactement connus par rapport aux prototypes fondamentaux. J'ai profité de cette circonstance pour essayer de donner, autant que possible, à l'ensemble de ce travail un caractère de précision; je me suis efforcé, comme on va le voir, d'atteindre dans la détermination de chacun des éléments qu'il était nécessaire de connaître, les dernières limites d'exactitude compatibles avec la nature de la question.

Pour calculer la résistance d'une colonne mercurielle, il faut connaître : 1° la forme intérieure du tube de verre qui la contient et qui n'est jamais cylindrique; 2° sa capacité; 3° sa longueur. Voici comment je fais entrer ces trois éléments dans le calcul de la résistance.

Si, sur un tube de verre bien choisi, dont le calibre varie peu et assez régulièrement, on trace une division en parties d'égales longueurs, les capacités intérieures pourront être exprimées par les divisions de cette échelle, à de petites corrections près, corrections qui varieront de trait en trait d'une manière continue.

On pourra donc déterminer leurs valeurs, par un calibrage, pour un certain nombre de points et obtenir celles des points intermédiaires, en général avec une exactitude suffisante, par une interpolation.

Les *corrections de calibre* sont donc *les nombres qu'il faut ajouter aux lectures de l'échelle pour représenter les capacités intérieures correspondantes*. Ces capacités peuvent être exprimées en fonction d'une unité quelconque, ce qui entraîne la possibilité, évidente d'ailleurs *à priori*, d'une infinité de systèmes de corrections, différents quoique équivalents. Ce qu'il y a en général de plus simple est de prendre pour unité de capacité la capacité moyenne d'une division entre les deux extrémités de l'échelle à calibrer; cela revient à attribuer aux corrections des deux points extrêmes la valeur zéro. Ainsi, si on désigne par v cette capacité unité, par a et b deux divisions quelconques de l'échelle, par x'_a et x_b leurs corrections, enfin par $v_{(a,b)}$ la capacité comprise entre a et b, on a par définition :

$$(1) \quad v_{(a,b)} = v[(b+x_b)-(a+x_a)] = v(b-a+x_b-x_a).$$

Soit l la valeur linéaire d'une division de l'échelle; la longueur de l'intervalle compris entre a et b est $l(b-a)$. Désignons par $s'_{(a,b)}$ la section du tube, *supposé cylindrique*, dans cet intervalle; on a

$$v_{(a,b)} = l(b-a)s_{(a,b)};$$

d'où

$$s_{(a,b)} = \frac{v(b-a+x_b-x_a)}{l(b-a)},$$

D'autre part, si r est la résistance d'une colonne de mercure ayant l'unité de longueur sur l'unité de section, la résistance de la colonne comprise entre a et b est

$$R_{(a,b)} = r\frac{l(b-a)}{s_{(a,b)}} = r\frac{l^2(b-a)^2}{v(b-a+x_b-x_a)}.$$

La résistance de la portion du tube comprise entre les divisions b et c serait donnée par une relation semblable, et la résistance totale R_T du tube, entre deux divisions extrêmes a et n est la somme de tous les termes analogues :

$$R_T = r\frac{l^2}{v}\left[\frac{(b-a)^2}{b-a+x_b-x_a}+\frac{(c-b)^2}{c-b+x_c-x_b}+\dots+\frac{(n-m)^2}{n-m+x_n-x_m}\right].$$

Enfin, dans l'application, on simplifie le calcul de la formule précédente, en prenant, quelle que soit la longueur du tube, les points a, b, c, ... m équidistants le point n pouvant d'ailleurs être quelconque ; on a alors

$$b-a=c-b=\dots=C$$

par suite la résistance totale entre a et n est

$$R_T = r\frac{l^2}{v}\left[\left(\frac{1}{C+x_b-x_a}+\frac{1}{C+x_c-x_b}+\dots\right)C^2+\frac{(n-m)^2}{n-m+x_n-x_m}\right].$$

La valeur de R_T est évidemment obtenue avec une exactitude d'autant plus grande qu'on prend les points a, b, c, ... plus voisins les uns des autres, c'est-à-dire qu'on se rapproche davantage de la condition supposée plus haut de la cylindricité du tube entre deux points consécutifs.

Pour introduire la colonne mercurielle dans un circuit, on fait pénétrer les extrémités du tube dans de larges flacons munis d'une tubulure latérale et pleins de mercure, par lesquels s'établissent les communications. Le diamètre de ces flacons peut être pris assez grand pour que leur résistance propre soit absolument négligeable. Ce mode de connexion n'en introduit pas moins une résistance additionnelle particulière dont il faut tenir compte ; c'est celle des portions de mercure qui, dans les flacons, avoisinent immédiatement les

extrémités de la colonne. Comme pour les tuyaux sonores, la longueur théorique de la colonne est un peu plus grande que sa longueur réelle. Cette résistance d'entrée du tube ou de communication peut se calculer, et s'obtient en supposant ajoutée à la longueur du tube une quantité égale à 0,82 de son diamètre. Ce coefficient, qui est admis par lord Rayleigh, s'est trouvé vérifié d'une façon presque parfaite par des expériences dont le détail a été rapporté dans notre travail fait en commun avec MM. Mascart et de Nerville (*). Si on désigne par ρ cette résistance de communication, la résistance de l'étalon, limité aux points a et n, et introduit dans un circuit par l'intermédiaire de ses flacons à mercure, est finalement :

$$(2)\quad R = r\,\frac{l^2}{v}\left[\left(\frac{1}{C + x_b - x_a} + \frac{1}{C + x_c - x_b} + \dots\right)C^2 + \frac{(n-m)^2}{n - m + x_n - x_m}\right] + \rho.$$

C'est par cette formule qu'ont été calculées les résistances de nos étalons.

La résistance spécifique r (1 mètre de longueur sur 1 millimètre carré de section à zéro) est, par la définition de l'ohm légal, $\frac{1,00}{1,06} = 0.943\,396$. Les quantités l et v sont supposées définies à la température de zéro.

Si l'on suppose le tube d'abord *trop long* et étudié sur une longueur un peu supérieure à celle qui serait nécessaire pour représenter l'ohm légal (ce dont il est facile de s'assurer par quelques mesures préliminaires approximatives), on pourra disposer des quantités a et n de manière à rendre le deuxième membre de l'équa-

(*) *Résumé d'expériences*, etc., p. 66.

tion (2) égal à 1 ; en d'autres termes, on pourra déterminer par le calcul les deux points auxquels le tube devra être coupé pour que l'étalon qu'il formera ait *exactement* la valeur de l'unité. Il restera alors à réaliser matériellement cette condition, à faire passer les sections extrêmes, aussi rigoureusement que possible, par les deux divisions ainsi fixées par le calcul. Il ne me paraît pas nécessaire d'insister sur les avantages que doivent présenter de tels étalons, par rapport aux étalons mercuriels de valeurs à peu près quelconques ou grossièrement approchées de l'unité que l'on construit habituellement, principalement au point de vue de la précision incomparablement supérieure des vérifications faites entre eux *à posteriori* par les mesures électriques, et par suite de la sécurité plus grande du résultat.

Les tubes que j'ai employés, au nombre de quatre, avaient la grosseur d'une tige thermométrique ordinaire, une longueur de $1^{m},20$ et une section intérieure voisine de 1 millimètre carré. Les n°s 1 et 2 étaient en verre vert ou *dur*, peu fusible; les n°s 3 et 4 en cristal à base de plomb. Sur ces tubes, préalablement dressés aussi bien que possible, on a tracé, à l'aide d'une bonne machine à diviser, une division millimétrique, sur une longueur de 105 centimètres.

Ces tubes étaient ainsi préparés depuis quatorze mois environ lorsque je les ai employés à la confection des étalons de résistance et ai commencé leur étude. Cette étude complète devait comprendre, comme on vient de le voir : 1° le *calibrage*, c'est-à-dire la détermination des corrections x de la formule (2); 2° le *jaugeage*, c'est-à-dire la détermination du volume v à zéro de la

division moyenne ; 3° la *mesure de la longueur*, c'est-à-dire la détermination de la valeur linéaire l à zéro d'une division de l'échelle, et celle des deux divisions extrêmes a et n par lesquelles passent les sections terminales du tube une fois coupé. Je donnerai quelques détails sur chacune de ces opérations, et reproduirai, en même temps, les résultats numériques obtenus pour chacun des quatre tubes étudiés (*).

Calibrage. — Pour faire le calibrage, on a mis en œuvre les méthodes, aujourd'hui très perfectionnées, qui sont appliquées au Bureau international des Poids et Mesures, pour établir les tables de corrections des thermomètres fondamentaux employés dans les comparaisons et les mesures de dilatation des règles métriques. Les corrections de calibre ont été déterminées, entre les divisions 0 et 1050, de 50 en 50 divisions (c'est-à-dire de 5 en 5 centimètres), au moyen de 20 colonnes de mercure successivement introduites dans le tube, et dont les longueurs étaient respectivement de 50^{mm}, 100^{mm}, 150^{mm}, ..., 950^{mm}, 1000^{mm}, à peu près. Le tube étant placé horizontalement sur un banc à calibrer, muni de deux lunettes mobiles le long d'une glissière parallèle à son axe, on mesurait les longueurs de ces colonnes, par la division même gravée sur le tube, dans ses différentes parties, en les déplaçant progressivement de 50 en 50 divisions. Afin d'éliminer la faible influence d'une variation possible de température des colonnes mercurielles pendant les opérations,

(*) Il sera publié ultérieurement une relation plus complète de ce travail, dans laquelle seront reproduits *in extenso*, non seulement les résultats, mais encore le journal des observations, qui est leur point de départ et les justifie.

après avoir fait les observations de la gauche vers la droite, on les recommençait en rétrogradant, de manière à avoir, pour chaque position, deux observations faites symétriquement, dont on prenait la moyenne. Les lectures faites sur les extrémités de ces colonnes, toujours dans le voisinage des *points principaux*, 0, 50, 100, ..., 1000, 1050, conduisent, entre les corrections de ces points, à des équations de condition, qui dérivent immédiatement de l'expression (1) ci-dessus. En général, si i et k sont deux points principaux quelconques, et qu'une colonne mesurée sur l'échelle ait une longueur sensiblement égale à $k-i$, cette colonne, placée de manière que ses extrémités soient voisines des points k et i, fournit une relation de la forme

$$x_i - x_k + \lambda = A,$$

relation dans laquelle λ est une quantité constante pour une colonne donnée, constituant une inconnue à déterminer, et A est l'excès observé (positif ou négatif) de la longueur de la colonne sur l'intervalle $k-i$ (*). Chaque observation fournissant une relation semblable, on est conduit finalement à un système de 230 équations de condition, avec 40 inconnues. La résolution d'un pareil système, s'il fallait la faire par les procédés d'élimination ordinaires, conduirait à des calculs inextricables et à un labeur hors de toute proportion avec le résultat à obtenir. Mais ce système présente une symé-

(*) La démonstration de cette formule, ainsi que l'exposé de la méthode de calcul appliquée à l'ensemble des observations du calibrage m'entraînerait hors des limites du cadre de ce travail. Je ne puis que renvoyer, sur ces points, au mémoire publié par moi dans le tome II des *Travaux et Mémoires du Bureau international des poids et mesures*, et dans lequel j'ai traité la question du calibrage d'une façon complète. (*Mesures de dilatation et comparaison des règles métriques*, par J. René Benoît, p. C. 35-48 et C. 68.)

trie particulière, grâce à laquelle on a pu imaginer diverses méthodes pour le résoudre, assez rapidement et sans difficultés sérieuses, en suivant, dans la marche du calcul, certains *schémas* faciles à appliquer. La méthode que j'ai suivie est celle de M. Marek, qui donne les valeurs *les plus probables* des inconnues, en répartissant les erreurs sur l'ensemble des observations, conformément aux lois du calcul des erreurs fortuites, de manière que la somme de leurs carrés soit un minimum. Le calcul doit être fait deux fois, en deux approximations successives; la première fournit des valeurs des corrections qui sont suffisamment approchées lorsqu'on a affaire à des tubes d'un calibre assez uniforme, ce qui arrive souvent pour des tiges thermométriques; mais on ne pouvait guère s'attendre à ce que cette condition se trouvât réalisée à un degré suffisant dans des tubes aussi longs que ceux dont il s'agit ici.

Le calcul du système d'équations fourni par le calibrage conduit finalement à l'établissement, pour chacun des tubes étudiés, d'une Table, qui donne les corrections des points principaux de l'échelle, c'est-à-dire de 50 en 50 divisions. Ce résultat peut se représenter graphiquement, en portant sur une feuille quadrillée les divisions de l'échelle en abscisses, et en ordonnées les valeurs des corrections; en joignant par un trait continu les points ainsi obtenus, on construit une courbe, dont la forme est d'autant plus régulière que le calibre intérieur du tube est lui-même plus satisfaisant, et qui peut être employée, souvent avec une exactitude suffisante, à déterminer les corrections des points intermédiaires.

Les résultats ainsi obtenus pour les quatre tubes sont les suivants :

DIVISIONS de l'échelle.	CORRECTIONS DE CALIBRE.			
	Tube n° 1.	Tube n° 2.	Tube n° 3.	Tube n° 4.
d.	d.	d.	d.	d.
0	0,000	0,000	0,000	0,000
50	+ 3,256	— 0,272	+ 2,239	— 0,882
100	+ 6,297	— 0,601	+ 3,616	— 2,213
150	+ 8,736	— 0,428	+ 4,715	— 3,327
200	+ 10,888	+ 0,241	+ 6,069	— 4,212
250	+ 12,048	+ 0,428	+ 7,454	— 4,932
300	+ 12,048	+ 0,260	+ 8,499	— 5,766
350	+ 10,727	— 0,080	+ 9,263	— 6,460
400	+ 8,961	— 0,956	+ 9,552	— 6,616
450	+ 6,918	— 2,178	+ 9,218	— 6,096
500	+ 4,636	— 3,229	+ 8,391	— 4,724
550	+ 2,577	— 3,330	+ 7,490	— 3,216
600	+ 0,788	— 3,297	+ 6,574	— 1,832
650	— 1,047	— 3,772	+ 5,814	— 0,806
700	— 1,884	— 3,779	+ 5,651	— 0,190
750	— 1,909	— 3,342	+ 5,402	+ 0,124
800	— 1,019	— 3,231	+ 4,630	+ 0,183
850	— 0,191	— 3,219	+ 4,006	+ 0,441
900	+ 0,545	— 2,692	+ 2,843	+ 0,330
950	+ 0,831	— 1,812	+ 1,524	+ 0,259
1000	+ 0,331	— 0,911	+ 0,331	+ 0,239
1050	0,000	0,000	0,000	0,000

A ce calibrage principal, on a ajouté deux petits calibrages complémentaires, plus serrés, et donnant les corrections de 10 en 10 divisions, c'est-à-dire de centimètre en centimètre, pour le premier et le dernier décimètre des échelles de chacun des tubes. C'est qu'en effet les corrections des points voisins des extrémités jouent un rôle spécial dans l'étude du tube et présentent une importance particulière. D'abord, en examinant la manière dont les corrections de calibre entrent dans le calcul de la résistance de l'étalon (formule (2) ci-dessus), on voit aisément qu'une *petite* erreur commise sur l'une des corrections aurait pour effet d'altérer de

quantités à très peu près égales, mais en sens inverse, la résistance calculée du segment de colonne qui précède le point correspondant et celle du segment qui le suit. Il s'établit ainsi, pour tous les points intermédiaires, une sorte de compensation, qui annule très sensiblement l'influence de ces petites erreurs dans la résistance totale. Pour les deux corrections extrêmes seules, cette compensation n'existe pas. Or le tube, pour constituer un étalon de l'unité, devra être coupé en deux points, voisins des extrémités de la division, et dont l'un au moins, selon toute probabilité, ne sera pas l'un des points principaux du calibrage. La correction de ce point, qui devra par suite être interpolée, entrera dans le calcul de la résistance avec toute son erreur. D'autre part, on verra que les corrections des divisions comprises dans les deux décimètres extrêmes de l'échelle serviront au calcul des volumes des colonnes mercurielles employées au jaugeage du tube ; à ce point de vue encore, elles doivent être déterminées aussi exactement que possible. Or l'expérience m'a appris qu'on ne peut pas toujours se fier à une interpolation, sur une longueur de 5 centimètres, dans les limites d'exactitude que je désirais atteindre. Les deux calibrages que j'ai cru ainsi utile d'ajouter, pour plus de sécurité, au calibrage principal ont été faits, en suivant la même méthode, au moyen de 9 colonnes de mercure de 1, 2, 3,... 9 centimètres, dont on mesurait les longueurs, dans le premier et le dernier décimètre, en les déplaçant successivement de 1 centimètre. Les corrections ont été calculées de la même manière, et rapportées au même système, c'est-à-dire exprimées en fonction de la même unité de capacité v. On a obtenu ainsi, pour les quatre tubes, les résultats complémentaires qui suivent :

DIVISIONS de l'échelle.	CORRECTIONS DE CALIBRE.			
	Tube n° 1.	Tube n° 2.	Tube n° 3.	Tube n° 4.
d.	d.	d.	d.	d.
0	0,000	0,000	0,000	0,000
10	+ 0,719	— 0,046	+ 0,515	— 0,089
20	+ 1,337	— 0,088	+ 0,971	— 0,219
30	+ 1,998	— 0,141	+ 1,426	— 0,401
40	+ 2,647	— 0,205	+ 1,850	— 0,613
50	+ 3,256	— 0,272	+ 2,239	— 0,882
60	+ 3,894	— 0,346	+ 2,596	— 1,170
70	+ 4,527	— 0,436	+ 2,905	— 1,454
80	+ 5,148	— 0,486	+ 3,162	— 1,729
90	+ 5,733	— 0,528	+ 3,397	— 1,988
100	+ 6,297	— 0,601	+ 3,616	— 2,213
950	+ 0,831	— 1,812	+ 1,524	+ 0,259
960	+ 0,803	— 1,630	+ 1,294	+ 0,286
970	+ 0,744	— 1,476	+ 1,032	+ 0,319
980	+ 0,629	— 1,276	+ 0,796	+ 0,299
990	+ 0,474	— 1,081	+ 0,533	+ 0,272
1000	+ 0,331	— 0,911	+ 0,331	+ 0,239
1010	+ 0,205	— 0,770	+ 0,183	+ 0,204
1020	+ 0,059	— 0,582	+ 0,057	+ 0,186
1030	— 0,044	— 0,422	— 0,036	+ 0,142
1040	— 0,062	— 0,225	— 0,048	+ 0,072
1050	0,000	0,000	0,000	0,000

Dans ces dernières Tables, les corrections sont données pour des points assez rapprochés pour qu'on puisse interpoler linéairement, entre deux points consécutifs, sans avoir à craindre de commettre des erreurs sensibles.

Jaugeage. — Pour déterminer la valeur v de la capacité unité, on introduisait dans le tube une colonne de mercure de 950 à 1000 millimètres de longueur; on le plaçait sur l'appareil à calibrer, et on le couvrait

d'une couche épaisse de glace finement râpée; on attendait un temps suffisant pour que le tube et le mercure eussent pris la température de zéro; puis, au moyen des lunettes, on mesurait la longueur de la colonne, en ayant soin de ne découvrir jamais que la quantité strictement nécessaire pour faire les lectures. On répétait ces mesures, après avoir déplacé la colonne de quelques centimètres, dans 20 positions différentes.

Ces mesures présentent une certaine difficulté, à cause de la forme convexe des extrémités de la colonne mercurielle. Pour en tenir compte, on faisait, à chaque bout, deux lectures, l'une correspondant au sommet du ménisque, l'autre à sa base, et l'on en prenait la moyenne; mais cette moyenne ne représente pas exactement la lecture qu'on aurait obtenue si la surface du mercure avait été plane et exige une légère correction. Il résulte de considérations géométriques très simples que cette correction, égale à la différence entre le volume du segment sphérique et celui du cylindre de même base et de hauteur moitié moindre, est donnée, en division de l'échelle, par l'expression

$$C = \frac{\rho}{l}\left(\frac{2 - 3\sin\theta + \sin^3\theta}{3\cos^3\theta} - \frac{1}{2}\,\frac{1 - \sin\theta}{\cos\theta}\right),$$

où ρ est le rayon du tube, l la valeur linéaire d'une division, et θ l'angle de raccordement du mercure sur le verre. Avec $l = 1^{mm}$ et $\theta = 42^\circ$, on a

$$C = +0{,}0149\rho.$$

Cette correction devant être appliquée aux deux extrémités de la colonne, la correction totale est double; pour les quatre tubes, qui ont sensiblement le même diamètre, cette correction totale est de $+0^d{,}016$.

En appliquant aux lectures des deux extrémités de la colonne, dans les 20 observations ainsi effectuées, les corrections de calibre déterminées dans la partie précédente de l'étude du tube, on devait obtenir 20 valeurs égales, représentant le nombre de divisions moyennes correspondant au volume de cette colonne, c'est-à-dire ce volume exprimé en fonction du volume unité v, à la température de zéro; la concordance des 20 résultats ainsi obtenus constitue une vérification partielle du calibrage. La moyenne de ces 20 résultats était admise comme valeur définitive. On vidait ensuite le tube dans une petite capsule de verre, dont on pesait le contenu. Comme contrôle, et afin de varier autant que possible les conditions des observations, on a répété les mêmes opérations, pour chacun des tubes, avec 5 colonnes de mercure de longueur un peu différentes.

Les pesées étaient faites au moyen de l'une des balances de précision du Bureau international, et d'une série de poids en platine rhodié, construite par M. Collot et appartenant à M. le Dr Broch, qui a bien voulu me la prêter à cette occasion; cette série avait été étalonnée avec le plus grand soin. La position d'équilibre de la balance était déterminée par la lecture de cinq élongations successives de son aiguille; sa sensibilité, mesurée par une tare spéciale à chaque nouvelle opération, était d'à peu près $0^{mgr},23$ pour une division du cadran, et permettait par conséquent d'apprécier avec exactitude $\frac{1}{20}$ de milligramme environ. Les pesées ont été calculées en tenant compte des corrections, très petites d'ailleurs, qui devaient être appliquées aux poids employés, et en faisant la ré-

duction au vide suivant les méthodes habituelles.

Les tableaux suivants contiennent les résultats obtenus : l'avant-dernière colonne de chaque tableau donne le poids p de mercure correspondant, à zéro, à la division moyenne, c'est-à-dire à la capacité v, déduit de chaque expérience ; la dernière donne les écarts de chacun de ces nombres par rapport à leur moyenne ; ces écarts représentent, *en centièmes de milligramme*, les erreurs résiduelles de chacune des déterminations.

Tube n° 1.

Colonne.	Volume.	Poids.	p	Δ
	d.	gr.	mgr.	
1	989,390	12,45282	12,58636	— 1
2	970,229	12,21119	12,58588	— 49
3	950,341	11,96141	12,58644	+ 7
4	1001,460	12,60484	12,58646	+ 9
5	1009,193	12,70242	12,58671	+ 34
		Moyenne =	12,58637	

Tube n° 2.

Colonne.	Volume.	Poids.	p	Δ
	d.	gr.	mgr.	
1	992,225	12,12630	12,22132	— 12
2	981,918	12,00045	12,22143	— 1
3	954,244	11,66244	12,22165	+ 21
4	985,580	12,04496	12,22119	— 25
5	1001,387	12,23858	12,22163	+ 19
		Moyenne =	12,22144	

Tube n° 3.

Colonne.	Volume.	Poids.	p	Δ
	d.	gr.	mgr.	
1	997,600	12,87293	12,90390	+ 27
2	960,521	12,39386	12,90327	— 36
3	967,307	12,48174	12,90360	— 3
4	984,457	12,70288	12,90344	— 19
5	1004,043	12,95611	12,90394	+ 31
		Moyenne =	12,90363	

Tube n° 4.

Colonne.	Volume.	Poids.	p	Δ
	d.	gr.	mgr.	
1	1011,238	12,89778	12,75445	+ 39
2	998,901	12,74027	12,75429	+ 23
3	961,494	12,26287	12,75397	— 9
4	988,900	12,61204	12,75361	— 45
5	973,988	12,42221	12,75397	— 9
		Moyenne =	12,75406	

Le poids p une fois connu, le volume v d'une division moyenne à zéro s'en déduit immédiatement ; on a adopté pour la densité du mercure à zéro la valeur 13,5956, qui résulte des expériences faites récemment au Bureau international des poids et mesures par M. Marek. On obtient pour les quatre tubes :

Tubes.	v
	mm³.
N° 1	0,925768
2	0,898927
3	0,949103
4	0,938102

Mesures de longueur. — Les mesures de longueur ont été faites au moyen du *Comparateur universel* du Bureau international. C'est un appareil constitué essentiellement par deux grands microscopes verticaux, montés chacun sur une sorte de socle, faisant chariot, qui leur permet de se déplacer le long d'un pont de fonte de fer extrêmement solide et résistant. Ce pont, qui a un peu plus de deux mètres de longueur, est appuyé à ses extrémités sur deux forts piliers monolithes. Au-dessous de lui, est un chariot qui porte les *bancs* métalliques sur lesquels on place les règles ou en général les échelles que l'on veut étudier. Au moyen d'un mécanisme, que l'observateur gouverne par l'intermédiaire de manivelles placées sous sa main, on peut amener

successivement sous les microscopes, réglés dans une position donnée et immobiles, soit les échelles différentes, soit les différentes portions d'une même échelle qu'on se propose de comparer.

On a commencé par s'assurer, par une étude approximative des échelles tracées sur les tubes, qu'elles ne présentaient pas d'irrégularités importantes, qui auraient pu entraîner des erreurs sensibles dans le calcul de la résistance des étalons. On a constaté ainsi, par trois séries d'observations pour chaque tube, l'existence d'erreurs de division bien évidentes, mais de valeurs pourtant assez faibles pour que leur influence restât inappréciable. On a donc pu les négliger, et attribuer à la quantité l une valeur constante, pour chaque échelle, dans toute son étendue.

La détermination de cette quantité l a été faite, en comparant les échelles tracées sur les quatre tubes à l'un des étalons de longueur appartenant au Bureau international. L'étalon dont on s'est servi dans ce but est un mètre à traits, portant une division en millimètres dans toute sa longueur, et désignée dans les registres du Bureau sous le nom de *Règle normale*. Ce mètre a été antérieurement comparé à l'Etalon international provisoire, et, par suite, sa longueur, en fonction du Prototype des Archives, est exactement connue; sa dilatation a été mesurée, et sa division étudiée. Douze séries de comparaisons faites, pour chacun des tubes, en partant de deux intervalles de longueurs différentes, à des températures voisines de 20°,5, ont donné, après réduction à zéro au moyen des coefficients de dilatation que l'on trouvera ci-après, des résultats très concordants, dont voici les moyennes :

Tubes.	l
	mm.
N° 1	1,000076
2	1,000114
3	1,000044
4	1,000064

Les déterminations précédentes une fois faites, on peut calculer par la formule (2) ci-dessus, la résistance d'une portion de tube comprise entre deux divisions quelconques. Il est utile de savoir jusqu'à quel point il convient de pousser, dans ce calcul, la division du tube pour que le résultat présente un degré d'approximation suffisant; pour s'en rendre compte, on a calculé la résistance du tube n° 1, entre les divisions extrêmes 0 et 1050, en le subdivisant successivement en fractions de plus en plus petites. On a obtenu ainsi, en ohms légaux :

	C	RÉSISTANCE CALCULÉE.
		ω
Subdivision en 2 parties.	525	1,070207
— en 3 —	350	1,070974
— en 5 —	210	1,071149
— en 6 —	175	1,071194
— en 7 —	150	1,071263
— en 10 —	105	1,071333
— en 14 —	75	1,071355
— en 21 —	50	1,071366
— en 25 —	42	1,071369
— en 42 —	25	1,071381

On voit que les divisions du tube en 21, 25 et 42 parties fournissent la même résistance à $\frac{1}{100000}$ près environ. Il doit en être *a fortiori* de même pour les trois autres tubes, dans lesquels les corrections sont plus

faibles; on s'est donc arrêté à la subdivision par 21, qui correspond à une segmentation de la colonne mercurielle en fractions de 50 millimètres de longueur, et qui, étant aussi celle qui a été adoptée pour le calibrage, permet d'employer directement la table de corrections donnée plus haut au calcul de la résistance.

Les tubes de verre ainsi étudiés, on a calculé quelle était la longueur qu'il fallait donner à chacun d'eux, à partir de la division zéro, pour en faire des étalons ayant exactement la valeur de l'unité. C'est un calcul d'approximations successives qui ne présente aucune difficulté. On a trouvé ainsi, pour les points de chacune des divisions par lesquelles devaient passer les sections terminales des colonnes, les valeurs suivantes :

	d.		d.
Tube nº 1	0,000 979,727	Tube nº 2	0,000 949,837
Tube nº 3	0,000 1004,877	Tube nº 4	0,000 993,342

Pour satisfaire aussi exactement que possible à cette condition, on a d'abord coupé les tubes, un peu en dehors des points indiqués par le calcul; puis on a rodé progressivement les deux extrémités au tour, de manière à leur donner une forme légèrement convexe, en s'aidant de moyens de contrôle dans le détail desquels je ne puis entrer ici, et en procédant avec de minutieuses précautions, par des retouches successives, alternant avec des comparaisons faites dans le comparateur universel avec la règle étalon. Il faut remarquer qu'une *petite* erreur commise sur la valeur *absolue* des deux divisions extrêmes n'aurait aucune influence sur la résistance calculée, pourvu que leur différence soit exactement déterminée.

Après la dernière retouche, on a reporté les tubes dans le comparateur universel, et on a procédé à la série définitive de comparaisons qui devait donner leur longueur exacte (*). Pour faire ces comparaisons, on introduisait une petite épingle dans chacune des extrémités du tube, et l'on pointait, avec les microscopes micrométriques, sur la ligne, suffisamment nette, suivant laquelle on voyait cette épingle disparaître pour s'enfoncer dans le tube. Afin d'éliminer les erreurs pouvant provenir d'un excentrage, existant presque toujours plus ou moins, du canal central par rapport à la surface extérieure du tube, on a fait 10 séries de comparaisons dans différentes positions du tube autour de son axe. Cette dernière série d'opérations a conduit, toutes réductions faites, aux résultats indiqués dans le tableau suivant, qui donne les longueurs des quatre tubes en millimètres, à zéro, et le nombre correspondant de divisions de leur échelle comprises entre les deux extrémités du canal.

Tubes.	Longueur à zéro.	Nombre de divisions.
	mm.	d.
N° 1	979,801	979,726
2	949,949	949,841
3	1004,900	1004,856
4	993,400	993,336

Dilatation des tubes de verre. — Toutes les observations au comparateur universel, dont il vient d'être question, ont été faites à la température ambiante, c'est-à-dire entre 20 et 22 degrés environ. Il y avait donc, pour ramener les résultats à zéro, à introduire

(*) Par exception, il a fallu déterminer la longueur du tube n° 3, qui dépasse 1 mètre, par comparaison avec la grande Règle étalon divisée, de 2 mètres, du comparateur. Cette règle a également été étudiée.

des réductions assez importantes, impliquant la connaissance de la dilatation des tiges de verre employées. Je n'ai pas voulu accepter, au hasard, un coefficient quelconque, parmi ceux, très nombreux et assez dissemblables, qui ont été trouvés par divers observateurs sur des échantillons différents.

J'ai donc mesuré les dilatations des deux sortes de verre dont sont formés les étalons, par 20 séries de comparaisons entre deux tiges, une de chaque espèce, et l'un des mètres étalons de platine iridié, du Bureau, les mieux déterminés, à des températures échelonnées entre 0 et 38 degrés. Ces mesures ont été faites au moyen du *Comparateur à dilatation* (*) ; elles ont donné, pour les coefficients moyens $\alpha_{(t)}$, entre 0 et t, les valeurs suivantes :

Verre vert, $\alpha_{(t)} = 10^{-9}(7141 + 8,5t)$,
Cristal, $\alpha_{(t)} = 10^{-9}(9062 + 9,5t)$.

Ces valeurs sont, comme on voit, assez différentes; l'erreur résultant de ce chef, bien que très petite assurément, ne devait pas être considérée *a priori* comme négligeable, et aurait pu en effet dépasser les limites des erreurs réellement commises dans la construction des étalons, telles qu'elles me paraissent résulter d'une façon certaine de l'ensemble des vérifications dont il me reste à parler.

Le calcul de la résistance des quatre tubes, coupés et terminés, donne, en ohms légaux :

Tubes.	ω
N° 1	0,999091
2	0,999083
3	0,999083
4	0,999093

(*) Voir *Travaux et Mémoires*, etc. Mémoire cité.

A ces résistances, il faut ajouter les résistances ρ de communication par les flacons; celles-ci, calculées, ainsi qu'on l'a dit plus haut, d'après le diamètre moyen de chaque tube, sont :

Tubes.	Diamètre moyen.	ρ
	mm.	ω
N° 1	1,0857	0,000908
2	1,0698	0,000921
3	1,0993	0,000896
4	1,0929	0,000901

Ainsi, les résistances théoriques des quatre étalons, déduites de l'étude géométrique des quatre tubes, faite comme je viens de l'indiquer, sont finalement :

		ω
Étalon	I	0,999999
—	II	1,000004
—	III	0,999979
—	IV	0,999994
	Moyenne	0,999994

Une étude attentive de la précision relative de chaque partie de ce travail et des limites des erreurs à craindre dans chacun des résultats qui viennent se fondre dans ce résultat total, m'avait conduit à penser, avant toute mesure électrique, que les erreurs ne devaient probablement pas dépasser 2 ou 3 unités sur l'avant-dernière décimale, c'est-à-dire 2 ou 3 cent-millièmes d'ohm. Il restait à vérifier cette conclusion, en comparant électriquement les résistances des quatre étalons.

Mesures électriques. — Cette deuxième partie du travail a été faite avec la collaboration de M. de Nerville, qui a répété toutes les comparaisons, et m'a aidé dans l'ajustement des copies dont je parlerai tout à l'heure.

Une fois l'étude des tubes terminée, on les a lavés

avec de l'eau distillée, de l'alcool, de l'acide azotique étendu, de l'ammoniaque, enfin de nouveau avec de l'eau distillée, et on les a desséchés avec le plus grand soin. On a ajusté ensuite les flacons terminaux dans lesquels devaient plonger leurs extrémités. Ces flacons avaient 6 centimètres de diamètre sur 8 centimètres environ de hauteur. A 3 centimètres au-dessus du fond, ils présentaient une tubulure dans laquelle les tubes pouvaient pénétrer librement. La jonction était faite au moyen d'un fragment de tuyau de caoutchouc (gomme *naturelle* non volcanisée) qui serrait étroitement le tube et la tubulure. Les flacons se terminaient en haut par un col à orifice assez large, qu'on pouvait fermer au moyen d'un bouchon rodé à l'émeri. Le tout était fixé sur une monture solide, munie de poignées et de cales convenablement placées pour empêcher le tube de fléchir.

Afin d'être sûr de ne pas laisser de trace d'air dans les tubes pendant le remplissage, on a jugé plus prudent d'opérer ce remplissage sous le vide. Cette opération a été réalisée en mettant le tube, avec ses flacons, en communication avec une pompe pneumatique, et faisant pénétrer le mercure, par un dispositif facile à imaginer, quand le vide était aussi parfait que possible.

Pour les comparaisons, on s'est servi d'une installation électrique remarquablement soignée, faite par M. Carpentier, qui m'a prêté, dans toute cette partie de mon travail, un concours actif et dévoué. Je n'insisterai pas ici sur cette installation, qui sera reproduite identiquement dans le Bureau d'étalonnage du Ministère des télégraphes, dont M. de Nerville donnera la description complète dans une notice spéciale. Je dirai seulement qu'elle se composait essentiellement

d'un *pont*, dont les trois premières branches A, B, C, étaient formées par des bobines, en très gros fil de maillechort, ayant chacune une valeur très voisine de 1 ohm légal. La quatrième branche D, était constituée par les résistances à comparer, qu'on y intercalait successivement. Les deux branches C, D étaient complétées par un *pont à corde*, présentant des dispositions particulières qui en rendaient l'emploi très commode et très précis. Le galvanomètre, de faible résistance, était réglé de manière qu'un déplacement du contact de 1 millimètre sur le fil du pont se traduisait par un déplacement de 300 millimètres environ de l'image lumineuse sur l'échelle transparente.

La méthode employée pour les comparaisons est une sorte de double pesée, dans laquelle la différence entre les résistances à comparer se trouve exprimée finalement par une certaine longueur du fil du pont.

On a fait d'abord un *calibrage* de ce fil, par une méthode tout à fait analogue à celle qui a été décrite plus haut pour le calibrage des tubes. Au lieu de colonnes mercurielles, dont on mesure les longueurs dans différentes parties du tube, on a ici des bobines, dont on mesure la résistance avec différentes parties du fil. Les valeurs de ces bobines sont d'ailleurs choisies systématiquement de manière à permettre de suivre une marche semblable et d'appliquer la même méthode de calcul. Les corrections ainsi trouvées sont très faibles, et devaient d'ailleurs disparaître entièrement, dans des comparaisons où la longueur de fil employée ne devait jamais dépasser quelques dixièmes de millimètre.

Pour faire la tare du fil, on a commencé par ajuster 11 bobines, l'une isolée, les 10 autres réunies en série dans une boîte, de manière que la valeur de chacune

d'elles fût très voisine de 1 ohm légal. On a ensuite mesuré, au moyen du pont, la différence entre la résistance de la bobine isolée seule et la résistance composée de cette bobine, mise en dérivation avec la série des 10 autres. On avait ainsi une différence de résistance calculable, représentée par une certaine longueur de fil du pont. L'opération, répétée plusieurs fois et avec différentes parties du fil, a donné pour la valeur en résistance de 1 millimètre de ce fil

$$0^{\omega},0000907.$$

Les comparaisons entre les quatre étalons ont été faites, en série fermée, dans toutes les combinaisons possibles. Ces combinaisons étant au nombre de six, la détermination complète comprenait six séries de comparaisons, conduisant finalement à six équations pour déterminer trois inconnues indépendantes. Les deux étalons à comparer étaient plongés côte à côte dans une grande auge métallique pleine d'eau, qu'on agitait pour assurer l'uniformité de température. On les introduisait alternativement dans le circuit au moyen de contacts d'une forme particulière, disposés de manière à établir la communication dans les flacons terminaux par l'intermédiaire d'une couche de mercure. Ce mode de connexion nous a permis d'éviter à la fois l'incertitude et la variabilité de contact que l'on peut craindre de la part de fils ou de lames de platine, et l'altération rapide du mercure de l'étalon que produisent inévitablement les tiges de cuivre amalgamées.

Les comparaisons ont fourni les résultats suivants, réduits à la température zéro (*) :

(*) Ces comparaisons ont été faites à des températures comprises entre 6°,3 et 7°,2. Si les quatre tubes étaient formés du même verre, leurs diffé-



	Observateur : Benoit.	Δ	Observateur : de Nerville.	Δ
	ω		ω	
I — II	+ 0,000014	— 7	+ 0,000023	— 1
I — III	+ 0,000052	— 3	+ 0,000070	+ 7
I — IV	+ 0,000025	+ 11	+ 0,000011	— 5
II — III	+ 0,000033	— 1	+ 0,000039	0
II — IV	— 0,000014	— 7	— 0,000009	— 1
III — IV	— 0,000046	— 5	— 0,000040	— 7

Ces résultats permettent de calculer les valeurs les plus probables des quatre étalons par rapport à leur moyenne générale. Si on *admet* que cette moyenne est précisément égale à la moyenne théorique $0^{\omega},999994$ trouvée plus haut, c'est-à-dire que les erreurs de construction commises sur chacun d'eux se compensent, les résistances vraies de ces étalons, déduites des deux séries ci-dessus, seraient :

	Observateur : Benoit.	Observateur : de Nerville.	Moyennes.
	ω	ω	ω
Étalon I	1,000016	1,000020	1,000018
— II	0,999996	0,999996	0,999996
— III	0,999962	0,999957	0,999959
— IV	1,000002	1,000004	1,000003
		Moyenne	0,999994

On trouvera ci-dessus, dans les colonnes intitulées Δ,

rences seraient constantes à toute température. Mais l'écart sensible qui xiste entre les dilatations du verre vert et du cristal a pour effet de faire croître *moins rapidement* la résistance des étalons formés de cette dernière matière. Il en résulte que les différences I — III, I — IV, II — III, II — IV, *croissent* de $0^{\omega}000002$ environ pour une élévation de température de 1 degré. Malgré cette circonstance, nous n'avons pas fait de comparaisons à zéro. Il nous a paru que la complication beaucoup plus grande des manipulations, la difficulté d'éviter complètement des dépôts très incommodes de buée dans les flacons, enfin la chance de faire naître des forces électromotrices thermo-électriques par de brusques variations de température en certains points du circuit, feraient plus que compenser l'avantage qu'il y aurait à faire disparaître un terme correctif, calculable avec une exactitude presque absolue et d'ailleurs assez petit pour toucher presque aux timites des erreurs inévitables d'observations.

à côté de chaque comparaison, les erreurs résiduelles correspondantes, en unités de la dernière décimale, c'est-à-dire en millionièmes d'ohm. Nous admettrons donc, pour les résistances *réelles*, mesurées électriquement, des quatre étalons construits, les valeurs moyennes contenues dans la dernière colonne du tableau précédent. Les différences entre ces valeurs et celles des résistances *théoriques*, déduites de l'étude géométrique des tubes, qui ont été données plus haut, représenteraient alors les erreurs de construction commises; ces erreurs seraient :

		ω
Étalon	I	— 0,000019
—	II	+ 0,000008
—	III	+ 0,000020
—	IV	— 0,000009

La plus grande atteindrait $\frac{2}{100000}$ d'ohm et le résultat moyen pourrait être considéré comme exact à $\frac{1}{100000}$ d'ohm à peu près.

Ces étalons fondamentaux ou *prototypes* sont très fragiles, incommodes pour la pratique habituelle, et peu propres à des opérations fréquemment répétées. J'ai construit, en outre, un certain nombre de copies qui donnent la même résistance sous une forme plus maniable. J'ai adopté une disposition analogue à celle que M. Mascart avait présentée à la Conférence. Ces copies sont constituées également par des colonnes de mercure; mais les tubes qui les contiennent sont recourbés plusieurs fois sur eux-mêmes, symétriquement; leurs extrémités supérieures pénètrent dans des godets d'un assez grand diamètre. Ces godets sont réunis au

tube par des anneaux de caoutchouc, et sont simplement fermés par des bouchons à l'émeri, ce qui facilite l'ajustement, et permet, au besoin, de renouveler le mercure. Ces copies ont été ajustées par comparaison, en coupant et rodant progressivement les extrémités du tube, jusqu'à leur donner une résistance très voisine de celle des prototypes. Leur remplissage a été fait dans le vide. Il y aura, je crois, un certain intérêt à voir comment ces étalons se comporteront, avec le temps, au point de vue de leur permanence, comparativement à des étalons de fil solide, maillechort, platine argent ou platine iridié.

Nous avons fait quelques études sur l'influence de la pureté du mercure et des métaux étrangers qu'il peut tenir en dissolution : celle-ci se traduit d'une manière générale par un accroissement de la conductibilité du mercure. Nous avons trouvé, par différents essais, que du mercure purifié par l'action répétée de l'acide azotique à chaud, puis desséché sous une couche d'acide sulfurique concentré, et enfin passé, pour enlever toute trace d'acide, sur de la potasse caustique, paraît être toujours exactement comparable, quelle que soit son origine.

COMMISSION

POUR L'ÉTUDE DES CONDITIONS TECHNIQUES A REMPLIR

POUR L'INSTALLATION DES CONDUCTEURS

AFFECTÉS

A LA TRANSMISSION DE LA FORCE ET DE LA LUMIÈRE

PAR L'ÉLECTRICITÉ

Sur la proposition de M. le ministre des postes et des télégraphes, une commission a été instituée par décret du président de la République en date du 15 septembre 1884, à l'effet de préparer et de proposer un règlement spécial pour fixer les conditions techniques à remplir dans l'intérêt de la sécurité publique, pour l'installation des conducteurs affectés à la transmission de la lumière ou au transport de la force par l'électricité.

Cette commission est composée de :

MM.

Hervé-Mangon, député, membre de l'Institut;

Jamin, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences;

Alphand, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des travaux de la ville de Paris;

Delmas, conseiller d'État;

Gariel, ingénieur en chef des ponts et chaussées;

Sartiaux, ingénieur des ponts et chaussées, sous-chef de l'exploitation des chemins de fer du Nord;

Mascart, professeur au collège de France, directeur du bureau central météorologique;

MM.

MILLE, lieutenant-colonel des sapeurs-pompiers;

MARQUES DI BRAGA, maître des requêtes au conseil d'État;

JOUSSELIN, inspecteur principal de l'exploitation des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée;

GUILLAUME, sous-directeur à la direction de l'administration départementale et communale au ministère de l'intérieur;

BERGON, directeur du matériel et de la construction au ministère des postes et des télégraphes;

BLAVIER, inspecteur général, directeur de l'École supérieure de télégraphie;

GEORGES COCHERY, directeur du cabinet et du service central au ministère des postes et des télégraphes;

CAEL, directeur-ingénieur des télégraphes de la région de Paris;

RAYNAUD, chef de bureau au ministère des postes et des télégraphes.

La première séance de la commission s'est tenue le 19 novembre 1884 sous la présidence de M. le ministre des postes et des télégraphes qui, après avoir remercié les membres de la commission de vouloir bien lui apporter leur concours, a établi ainsi le programme de leurs travaux :

« L'emploi pratique de l'électricité pour produire la lumière ou transporter la force à distance était, il y a quelques années à peine, un problème dont la solution pouvait paraître lointaine. A la science seule, il appartenait de s'en préoccuper ; les questions qui s'y rattachaient étaient de son domaine exclusif.

« Si aujourd'hui nous nous trouvons réunis dans cette commission, c'est que, grâce aux progrès accomplis, la question a tellement avancé que l'administration remplit à son tour un rôle, rôle bien modeste, mais qu'elle ne saurait aborder qu'en s'appuyant sur l'expé-

rience des savants. Je remercie donc ceux qui ont bien voulu consentir à venir travailler au milieu de nous ; je les assure qu'en applaudissant à leurs découvertes passées, nous appelons ardemment leurs progrès futurs.

« Il y a déjà plus de deux ans, la ville de Paris s'est préoccupée, à son point de vue spécial, des conditions d'installation des fils destinés à transmettre des courants électriques puissants ; une commission, constituée par le préfet de la Seine, établissait les bases du cahier des charges à imposer pour l'établissement de ces conducteurs sur ou sous la voie publique.

« En Angleterre, et à peu près à la même époque, le 11 mai 1882, la société des ingénieurs et des électriciens désigna une commission de dix-huit membres chargée d'examiner cette question de transmission de l'électricité au point de vue spécial de la sécurité des personnes et des immeubles. Cette commission, qui comprenait notamment sir W. Thomson, MM. Preece, Hughes, Siemens, E. Weber, etc., a rédigé une consultation divisée en quatre chapitres qui se rapportent : le premier, aux dynamos ; le deuxième, aux fils ; le troisième, aux lampes d'éclairage ; le quatrième, enfin, aux dangers qui peuvent résulter pour les personnes, de la transmission de l'électricité. Mais la commission n'a pas examiné les conditions dans lesquelles les lignes télégraphiques ou téléphoniques pourraient fonctionner dans le voisinage des conducteurs d'électricité à forte tension.

« Ce que je vous demande aujourd'hui, messieurs, c'est d'élargir ce programme et d'établir d'une manière générale les conditions techniques nécessaires à l'installation des fils et câbles destinés à transmettre l'é-

lectricité en tension, conditions nécessaires aussi bien à la sécurité de ceux qui y ont recours ou les entretiennent qu'à la sécurité du public ; aussi bien à la conservation des fils eux-mêmes qu'à la défense contre toute influence perturbatrice des lignes télégraphiques ou téléphoniques voisines.

« Vos travaux me paraissent donc devoir vous amener à envisager successivement les divers points suivants :

« 1° Examiner les précautions qui devront être prises, à tous égards, pour la pose de ces fils dans les égouts ou sous terre, au-dessus ou le long des bâtiments, pour leur introduction et leur installation à l'intérieur ;

« 2° Préparer un règlement à imposer aux entrepreneurs chargés de l'installation des conducteurs destinés à la transmission de la force ou de la lumière par l'électricité ;

« 3° Faire connaître les fils, câbles et les isolateurs qui devront être employés de préférence pour ces entreprises ;

« 4° Déterminer la résistance offerte par les fils au passage du courant électrique suivant leur diamètre ;

« 5° Fixer le maximum d'intensité de courant à envoyer par ces conducteurs ;

« 6° Recommander les meilleurs instruments pour mesurer la force du courant transmis et établir au point de vue technique un mode sûr de contrôle ;

« 7° Indiquer les précautions à prendre pour que les ouvriers chargés de l'entretien de ces lignes soient à l'abri de tout accident.

« Les règles devront évidemment être différentes selon qu'il s'agira des fils aériens ou des fils souter-

rains. Il sera donc indispensable d'examiner successivement l'installation de ces fils à la campagne ou à l'intérieur des villes.

« Vous aurez, du reste, à régler l'ordre et le programme complet des questions qui feront l'objet de votre examen.

« Et quand vous aurez établi les prespriptions nécessaires dans un intérêt public de sécurité; quand vous aurez ainsi montré que le transport de la force ou la production de la lumière par l'électricité sont du domaine de la pratique, vous aurez donné un encouragement à ceux qui poursuivent de nouveaux progrès.

« Loin d'apporter des entraves, vous aurez facilité les recherches destinées à compléter les solutions que d'admirables découvertes ont déjà apportées au problème scientifique. »

A la suite de ce discours, la réunion a nommé une sous-commission qui devra préparer les résolutions qui seront proposées aux délibérations de la commission.

Cette sous-commission se compose de :

MM. Jamin, président;
Gariel;
Sartiaux:
Mascart;
Marques di Braga;
Guillaume;
Cael;
Raynaud.

ESSAIS PÉRIODIQUES

DES

LIGNES ÉLECTRIQUES AÉRIENNES

I

GRANDEURS ET UNITÉS ÉLECTRIQUES.

---

1. *Grandeurs électriques.* — Les grandeurs électriques principales sont au nombre de cinq : la quantité d'électricité, ou la charge électrique d'un corps, Q ; l'intensité d'un courant, I ; la force électromotrice, E ; la résistance électrique d'un circuit, R ; enfin la capacité électrostatique d'un condensateur, S. Dans les recherches à faire sur les lignes électriques aériennes, on a seulement à envisager l'intensité du courant, la résistance des conducteurs et la force électromotrice ; pour les essais sur les lignes souterraines ou sous-marines on doit, en outre, tenir compte des deux autres grandeurs, la charge et la capacité électrostatique, qui dépendent des dimensions des conducteurs, de l'épaisseur et de la composition de l'enveloppe isolante.

2. — Il existe entre les trois grandeurs E, I et R, une relation bien connue sous le nom de *loi d'ohm :* l'intensité du courant est proportionnelle à la force électromotrice et en raison inverse de la résistance du

conducteur. On peut donc poser, en supprimant tout coefficient :

$$I = \frac{E}{R}.$$

Cette équation permet de déterminer une des trois quantités I, E ou R, lorsque les deux autres sont connues. Si l'intensité I du courant et la résistance R du circuit sont données, on a :

$$E = IR.$$

Lorsqu'on connaît la force électromotrice E et l'intensité I du courant, on a pour la résistance :

$$R = \frac{E}{I}.$$

3. — On peut choisir arbitrairement deux des unités et en déduire la troisième; c'est ainsi qu'on a opéré pendant longtemps.

En France, en Belgique et en Suisse, on avait pris, dans le service télégraphique, pour unité de résistance, celle d'un kilomètre de fil de fer de 4 millimètres de diamètre, et, pour unité de force électromotrice, celle de l'élément Daniell.

En Allemagne, on avait adopté pour unité de résistance l'unité Siemens, qui représente la résistance d'une colonne de mercure de 1 mètre de hauteur et de 1 millimètre carré de section, égale à environ 1/10 de l'ancienne unité française, et, pour unité d'intensité, sous le nom d'unité *atomique*, l'intensité du courant qui, en traversant l'eau acidulée pendant vingt-quatre heures, dégage 1 gramme d'hydrogène.

En Angleterre, l'unité de résistance adoptée communément était celle d'un mille de fil de cuivre de 1/16 de pouce de diamètre, etc.

4. — On comprend la confusion qui devait résulter de ces différences lorsqu'on voulait comparer les résultats des expériences faites daus les divers pays, et la nécessité qu'il y avait de s'entendre pour adopter un ensemble uniforme d'unités.

Le congrès international des électriciens, qui s'est tenu à Paris en septembre et octobre 1881 pendant l'exposition universelle d'électricité, a pris en main la question et, après avoir arrêté en principe le système d'unités à adopter, a renvoyé leur détermination à nne conférence internationale dont les travaux ont été terminés en mai 1884.

5. — Deux systèmes étaient en présence :

1° Adopter, comme on l'avait fait jusqu'alors, deux unités arbitraires, sauf à s'entendre sur leur choix, et celles qui se trouvaient indiquées naturellement étaient : pour la résistance, l'unité Siemens définie plus haut, et, pour la force électromotrice, celle d'un élément voltaïque choisi dans des conditions bien déterminées;

2° Faire intervenir pour le choix des unités électriques les relations qui existent entre les grandeurs électriques, magnétiques et mécaniques, et en déduire les unités électriques sans l'introduction d'aucune unité arbitraire.

C'est ce système, déjà adopté en 1862 par l'association britannique, qui a prévalu, et les unités qui en résultent sont dites *unités absolues.*

Avant d'indiquer comment on a pu les déterminer, il est nécessaire de passer rapidement en revue les principales unités mécaniques et magnétiques sur lesquelles elles reposent.

Unités fondamentales.

6. — Les unités absolues reposent sur trois unités fondamentales choisies arbitrairement : 1° l'unité de longueur qu'on a prise égale à 1 centimètre; 2° l'unité de masse égale à la masse d'un centimètre cube d'eau distillée au maximum de densité et qu'on nomme *masse-gramme;* 3° l'unité de temps égale, à une seconde.

Toutes les autres unités qui dérivent de ces trois unités fondamentales sont dites unités *absolues dérivées*, et leur ensemble constitue le système *centimètre-gramme-seconde*, qu'on représente par les trois lettres C. G. S.

Unités mécaniques dérivées.

7. *Unité de vitesse.* — L'unité de vitesse dans le système C.G.S, est celle d'un mobile qui, animé d'un mouvement rectiligne uniforme, parcourt 1 centimètre par seconde.

8. *Unité de force.* — L'unité de force est la force constante qui, appliquée à une masse égale à celle de 1 centimètre cube d'eau ou de 1 masse-gramme, lui imprimerait, au bout d'une seconde, une vitesse égale à 1 centimètre par seconde. Cette unité a reçu le nom de *dyne;* un million de dynes constitue le *megadyne.*

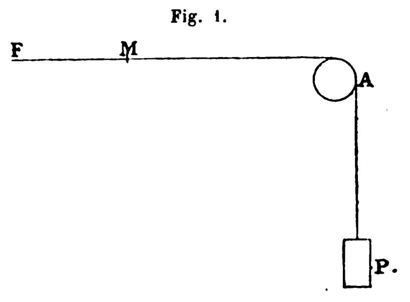
Pour les usages de la vie ordinaire, on prend pour unité de force celle que l'attraction de la terre, ou la pesanteur, développe sur une masse égale à 1 masse-gramme, et cette unité de force a reçu également le nom de gramme, qui s'applique aussi également à la masse et à la force, ce qui est souvent une source de

confusion. La force appelée *gramme* communique à 1 masse-gramme au bout d'une seconde, une vitesse égale à 981 centimètres par seconde; elle doit donc être représentée par ce chiffre dans le système absolu C G S, et est égale à 981 dynes.

La force appelée communément *kilogramme* est égale à 981.000 dynes ou à 0,981 megadynes. 1 megadyne diffère donc peu de la force représentée par le poids de 1 kilogramme.

9. — Dans la pratique, on ne peut songer à mesurer les forces par la vitesse qu'elles communiquent à un corps; la mesure se fait en leur opposant une force connue, de façon à leur faire équilibre. Ainsi, si un corps (*fig.* 1) M soumis d'un côté à une force F, et tiré en sens contraire par un poids P, agissant par l'intermédiaire d'une poulie A, reste en équilibre, la force F sera égale au poids P. Si P = 20 kilogrammes, la force F sera en unités absolues 20 × 981.000, ou 19.620.000 dynes, ou 19,62 megadynes.

Fig. 1.



10. *Travail d'une force, force vive, chaleur.* — On nomme travail d'une force le produit de cette force par l'espace que parcourt son point d'application si le mouvement a lieu dans la direction de la force, ou le produit de la force par la projection, sur sa direction, de l'espace parcouru, si elle est oblique par rapport au mouvement, ce qui peut avoir lieu dans le cas d'une vitesse préalablement acquise.

L'unité commune de travail est le gramme-mètre ou le kilogramme-mètre. Dans le système absolu CGS l'unité de travail est le travail accompli par une force égale à 1 dyne lorsque son point d'application parcourt 1 centimètre dans sa direction. Cette unité a reçu le nom d'*erg*. 1 *meg-erg* est égal à 1 million d'ergs.

Un poids de 1 gramme tombant de 1 mètre de hauteur accomplit un travail égal à 981 dynes $\times$ 100 centimètres ou à 98.100 ergs. 1 kilogramme en tombant de 1 mètre accomplit un travail égal à 98.100.000 ergs $=$ 98,1 meg-ergs; 1 erg est donc égal à $\frac{1}{98.100}$ gramme-mètre ou à $\frac{1}{98.100.000}$ kilogramme-mètre; 1 meg-erg est égal à $\frac{1}{98,1}$ kilogramme-mètre.

11. — On nomme force vive d'un corps en mouvement, dont la masse est m et la vitesse v, le produit $\frac{1}{2} mv^2$.

Si un corps en mouvement est soumis à une force, sa vitesse, et par suite sa force vive, s'accroît, et l'on démontre en mécanique que l'augmentation de sa force vive est égale au travail accompli par la force (produit de la force par l'espace parcouru).

Réciproquement, si un corps animé d'une certaine vitesse est soumis à une force qui agit en sens contraire de son mouvement, sa vitesse décroît peu à peu et devient nulle au moment où la force vive primitive est égale au produit de la force par l'espace parcouru en sens contraire de sa direction.

12. — Lorsqu'un corps en mouvement est arrêté brusquement par un choc contre un obstacle, sa vi-

tesse devient subitement nulle, mais il se produit une quantité de chaleur proportionnelle à sa force vive, ou au travail de la force qui l'avait produite. Il y a transformation en chaleur de la force vive et équivalence entre cette chaleur et le travail de la force.

Il existe donc une relation entre le travail et la chaleur. On nomme *équivalent mécanique* de la chaleur la quantité de travail qui est équivalente à la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centigrade un centimètre cube d'eau, qu'on appelle *calorie*.

13. — Il existe encore quelques doutes sur la véritable valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur. On admet, en général, dans le système d'unités ordinaires, où l'unité de force est le poids de 1 gramme et l'unité de longueur le mètre, le chiffre 425 pour cet équivalent.

La chaleur capable d'élever de 1 degré centigrade 1 gramme d'eau est donc équivalente au travail d'un poids de 1 gramme tombant de 425 mètres de hauteur ou d'un poids de 425 grammes tombant de 1 mètre.

Le travail de 1 gramme tombant de 1 mètre de hauteur est égal dans le système absolu à 98.100 ergs (nº 10); s'il tombe de 425 mètres le travail sera 425×98.100 ergs ou 41.692.500 ergs et sera équivalent à 1 calorie.

On a donc :

$$1 \text{ calorie} = 41.692.500 \text{ ergs.}$$

Unités magnétiques absolues.

14. *Pôles magnétiques.* — Deux pôles magnétiques se repoussent ou s'attirent, suivant qu'ils sont de même nom ou de noms contraires, avec une force

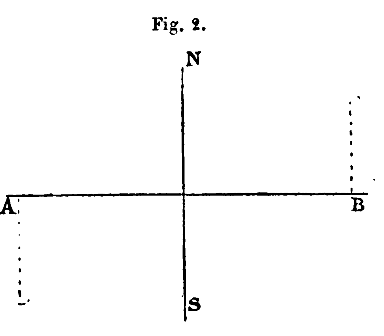
qui est proportionnelle au produit de leurs intensités et en raison inverse du carré de leur distance.

L'unité d'intensité de pôle magnétique est le pôle nord qui repousse avec l'unité de force (1 dyne) un pôle égal de même nom situé à l'unité de distance (1 centimètre).

15. *Moment magnétique.* — Les aimants rectilignes ordinaires, tels qu'on les emploie dans la pratique, ont toujours deux pôles égaux et de noms contraires, situés dans le voisinage de leurs extrémités. Le moment magnétique d'un aimant est le produit de la distance des deux pôles par l'intensité de l'un d'eux, et l'unité de moment est celui d'un aimant qui aurait deux pôles égaux à l'unité, dont la distance serait égale à l'unité de longueur (1 centimètre).

16. *Champ magnétique.* — On désigne sous le nom de champ magnétique tout espace dans lequel agissent des forces magnétiques. Dans un champ magnétique on doit considérer en chaque point : 1° la direction de la force qui agit sur un pôle magnétique ou la direction des lignes de force, qui est donnée par la direction que prend une aiguille aimantée libre de tourner autour de son centre ; 2° l'intensité du champ, qui est représentée par la force à laquelle serait soumis l'unité de pôle magnétique en ce point. Si H représente l'intensité du champ, un pôle d'intensité μ sera soumis, suivant la direction des

Fig. 2.



lignes de force du champ, à une force égale à $H\mu$, et un aimant AB (*fig.* 2), dont la distance des deux pôles serait $AB = l$, placé normalement aux lignes de force du champ, sera soumis à deux forces égales et contraires qui donneront lieu à un couple de rotation ayant pour valeur $Hl\mu$.

17. — Un champ magnétique peut être produit soit par la présence d'aimants ou de courants, son intensité et la direction des lignes de force étant alors variables d'un point à un autre, soit simplement par l'action de la terre. Dans ce dernier cas le champ est sensiblement uniforme pour une étendue restreinte de notre globe, mais il varie d'intensité d'un lieu à un autre situé à une grande distance.

L'intensité et la direction du magnétisme terrestre sont soumis à des perturbations périodiques et accidentelles qui paraissent devoir être attribuées à des courants électriques dont le siège se trouve dans les régions supérieures de l'atmosphère. Les premières sont lentes et très faibles et ne troublent pas d'une manière sensible les expériences qu'on peut faire sur les lignes électriques; quant aux autres, qui se manifestent surtout pendant les aurores boréales, elles n'ont en général qu'une durée restreinte.

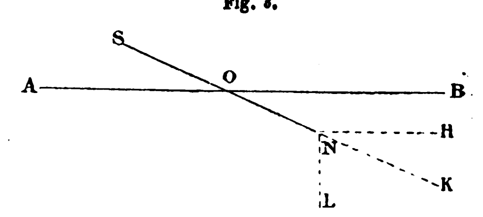
18. — A Paris le côté nord de l'aiguille aimantée se dirige à l'ouest du méridien avec lequel il forme un angle d'environ 18° (déclinaison) et s'incline en dessous du plan horizontal en faisant avec lui un angle de 65° (inclinaison).

Pour maintenir l'aiguille des galvanomètres horizontale, on rend le côté qui se dirige vers le sud un peu plus pesant que l'autre.

Quant à la valeur absolue du magnétisme terrestre,

c'est-à-dire à la force qui agirait sur l'unité de pôle magnétique nord N (*fig.* 3) dans la direction NK, elle peut

Fig. 3.



se décomposer en deux forces, l'une horizontale NH, et par conséquent parallèle à la surface de la terre AB ; l'autre verticale NL tendant à abaisser le pôle nord. Si l'aiguille est maintenue horizontale par un petit contrepoids, on n'a à tenir compte que de la composante horizontale NH.

D'après les dernières expériences faites à Paris en 1884, la valeur de cette composante, c'est-à-dire de la force qui agirait horizontalement sur un pôle nord égal à l'unité est, dans le système CGS : 0,194.

Un pôle magnétique d'intensité μ est soumis à une force égale à $h\mu$, ou à $0.194 \times \mu$ dynes, et un aimant dont le moment est $l\mu$, s'il est placé normalement à la direction du méridien magnétique est soumis à un couple de rotation qui a pour valeur $hl\mu$, ou $0.194 \times l\mu$.

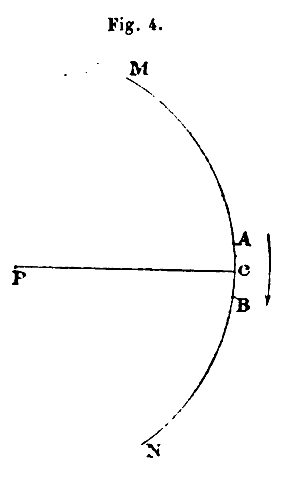
Unités électro-magnétiques absolues.

19. — Les trois grandeurs électriques principales, l'intensité d'un courant I, la force électromotrice E qui le produit, et la résistance R du circuit qu'il traverse, sont liées entre elles par la loi d'ohm rappelée plus haut,

$$I = \frac{E}{R}.$$

20. — Une seconde relation est fournie par l'action d'un élément sur un pôle magnétique. Si un courant AB (*fig.* 4) de petite longueur $AB = s$, traversé par un courant I, se trouve en présence d'un pôle magnétique P, d'intensité μ situé sur la normale CP, et à une distance r, le pôle est soumis à une force normale au plan qui passe par AB et par P, dirigée en avant de la figure si le courant va de A en B; cette force est proportionnelle au produit de la grandeur μ du pôle par la longueur s et l'intensité I du courant; elle est en raison inverse du carré de la distance $PC = r$; elle a donc pour valeur :

Fig. 4.



$$K \frac{\mu I s}{r^2},$$

K étant une constante.

Supposons que le courant forme un arc de cercle MN, de longueur l; tous les éléments de cet arc exerceront une action semblable sur le pôle magnétique μ, et on aura, pour la force f, à laquelle il sera soumis :

$$f = K \frac{\mu I l}{r^2}.$$

Si l'intensité du courant est donnée en fonction d'une unité arbitraire, cette équation peut donner la valeur de la constante K, si l'on connaît f, μ, l et r. Dans le système absolu, on suppose la constante K égale à l'unité et l'on a simplement

$$f = \frac{\mu I l}{r^2},$$

d'où l'on déduit

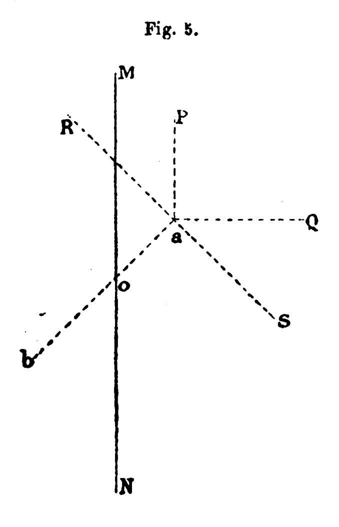
$$I = \frac{fr^2}{\mu l}.$$

L'intensité I est exprimée dans le système CGS si la force f, le pôle μ et les longueurs r et l sont données dans le même système d'unités. On comprend que cette méthode ne ne serait pas pratique, car on connaît difficilement la valeur exacte μ d'un pôle.

21. — Pour mesurer l'intensité d'un courant, on remplace le pôle magnétique P (*fig.* 4) par un aimant, et la mesure peut se faire sans qu'il soit nécessaire de connaître la valeur des μ pôles, ni même le moment magnétique de l'aimant.

Soit MN (*fig.* 5) la projection du fil conducteur enroulé sur un cadre circulaire, et dont la longueur est l; ab une aiguille aimantée de très faible longueur mobile sur un pivot au centre du cadre, ou, mieux encore, suspendue à un fil de soie; on place le cadre de façon que l'aiguille se trouve dans son plan lorsque aucun courant ne passe dans le fil conducteur et que, par conséquent il coïncide avec le méridien magnétique.

Fig. 5.



Le passage du courant dans le fil fait dévier l'aiguille qui s'arrête dans une position telle qu'il y ait équilibre entre la force due à l'action de la terre, égale à μh, qui agit dans la direction AP, et la force produite par

le courant normalement au cadre, suivant aQ. Si le rayon du cadre est très grand par rapport à la longueur de l'aiguille, son action sur le pôle a est sensiblement la même que si ce dernier se trouvait au centre, et a pour valeur $\frac{\mu I l}{r^2}$.

Pour que ces deux forces se fassent équilibre, il faut que leurs composantes suivant la normale RS à l'aiguille soient égales, ce qui, en désignant par θ l'angle MOA dont a tourné l'aiguille, ou la déviation, conduit à l'équation :

$$\frac{\mu I l}{r^2} \cos\theta = \mu h \sin\theta$$

ou

$$I = \frac{r^2 h}{l} \operatorname{tang}\theta.$$

Si r et l sont donnés en centimètres, si la composante horizontale du magnétisme terrestre h est connue exactement en unités CGS, on a l'intensité I d'un courant exprimé dans le même système d'unités.

On a vu que pour h on pouvait admettre, à Paris, le nombre 0,194.

L'instrument dont nous venons de rappeler le principe se nomme boussole de tangentes.

L'unité du courant est celle qui produirait une déviation θ telle que

$$\frac{r^2 h}{l} \operatorname{tang}\theta = 1$$

ou

$$\operatorname{tang}\theta = \frac{l}{r^2 h}.$$

22. — La troisième relation entre les trois grandeurs I, E et R, est fournie par la quantité de chaleur que développe un courant dans un conducteur donné, ou par le travail que peut produire ce courant.

La chaleur que développe dans un conducteur de résistance R un courant d'intensité I, pendant un intervalle de temps t, est, d'après la loi de Joule, proportionnelle au produit I^2Rt, et peut être représentée, en désignant par H une constante variable avec les unités adoptées, par HI^2Rt. Cette quantité de chaleur est équivalente à un travail mécanique qu'on peut exprimer lorsqu'on connaît l'équivalent mécanique de la chaleur. Soit W ce travail, on a

$$HI^2Rt = W.$$

La constante H dépend des unités adoptées pour l'intensité et la résistance. Dans le système absolu, on fait $H = 1$, et l'équation devient

$$I^2Rt = W,$$

qui donne pour la résistance, lorsque T et R sont connus,

$$R = \frac{W}{I^2t}.$$

On peut donc mesurer la résistance absolue R d'un courant en le plaçant dans un calorimètre, puis en le faisant traverser pendant un certain nombre de secondes t, par un courant dont on mesure l'intensité I avec une boussole de tangentes extérieure au calorimètre et en déterminant en calories, par le poids de la glace fondue ou l'élévation de la température, la chaleur dégagée. En multipliant ce nombre de calories par l'équivalent mécanique de la chaleur en ergs, 41692500 (n° 13), on a en unités absolues CGS le travail correspondant W, et on en déduit la résistance R du conducteur en unités absolues.

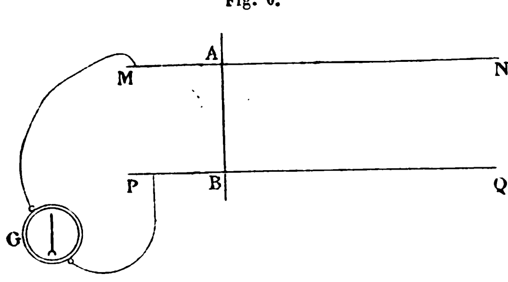
On a l'unité absolue de résistance exprimée en longueur de fil de même nature que celui qui a servi à

l'expérience, en divisant sa longueur réelle par la résistance trouvée.

23. — Cette méthode suppose que l'équivalent mécanique de la chaleur est connu avec une très grande exactitude. Or il existe encore des doutes sur sa véritable valeur, qui n'est pas exactement 425 grammes-mètres, comme nous l'avons indiqué n° 13. Mais on peut employer pour déterminer une résistance en unités absolues d'autres méthodes fondées sur les phénomènes d'induction.

24. — Lorsqu'on fait mouvoir un conducteur dans un champ magnétique, par exemple un conducteur

Fig. 6.



rectiligne AB s'appuyant sur deux barres conductrices fixes MN et PQ, il se produit un courant induit qu'on peut mesurer au moyen d'un galvanomètre G, en relation avec les deux barres; on éprouve une certaine résistance au mouvement et il faut développer un travail équivalent à la chaleur que développe le courant induit, et qui varie avec la vitesse imprimée au conducteur.

Supposons que le conducteur AB, de longueur l, soit déplacé d'un mouvement uniforme le long des deux barres MN et PQ, normales aux lignes de force du champ magnétique dont l'intensité est h : si I est l'in-

tensité du courant induit développé, la force à laquelle sera soumis le conducteur AB et qui s'opposera au mouvement sera I*hl*, et le travail qu'il faudra dépenser pour lui faire parcourir une distance *a* sera I*hla*.

Ce travail doit trouver son équivalent dans la chaleur que développe le courant I dans le circuit total, chaleur qui, ainsi qu'il a été dit plus haut, correspond à une quantité de travail égale à I^2Rt, si R est la résistance totale et *t* la durée du mouvement.

On a donc

$$I^2Rt = Ihla$$

ou

$$IR = hl\frac{a}{t},$$

ou, en remarquant que $\frac{a}{t}$ représente la vitesse *v* du mouvement du conducteur,

$$IR = hlv.$$

L'intensité absolue I est donnée par le galvanomètre G; on en déduit donc pour la résistance R

$$R = \frac{hlv}{I}.$$

25. — Sous cette forme l'expérience ne serait pas possible, mais on peut la réaliser de plusieurs manières différentes.

La méthode employée par l'Association britannique en 1862, et en 1882 par lord Rayleigh, consiste à faire tourner d'un mouvement régulier un cadre circulaire; un petit aimant, placé au centre, dévie sous l'influence des courants induits que développe le magnétisme terrestre.

La résistance du fil enroulé sur le cadre se déduit

du rayon de ce dernier, de la vitesse de rotation et de la déviation de l'aimant.

26. — Une autre méthode, appliquée d'abord par Weber, puis récemment par M. Mascart, consiste à faire tourner un grand cadre placé normalement au méridien magnétique d'un angle de 180°. Il se développe un courant induit qu'on fait passer dans une boussole de tangentes séparée du cadre.

La quantité d'électricité mise en mouvement, et qu'on peut évaluer par l'angle d'oscillation de l'aiguille, dépend des dimensions du cadre mobile, de l'intensité du magnétisme terrestre et de la résistance totale du fil conducteur. Cette résistance peut donc se déduire des conditions de l'expérience.

La résistance R du conducteur employé dans les expériences étant connue en unités absolues, il est facile, ainsi qu'il a été dit plus haut, d'en déduire l'unité absolue de résistance et d'établir, par les procédés galvanométriques ordinaires, un étalon et des multiples de l'étalon destinés à servir dans la pratique pour la mesure des résistances des conducteurs dont on fait usage dans la pratique.

27. — L'intensité d'un courant et la résistance d'un conducteur peuvent donc être déterminées directement en unités absolues CGS. Quant à la force électromotrice qui agit sur un circuit, elle se déduit de sa résistance R et de l'intensité I par la formule d'ohm $I = \frac{E}{R}$ ou $E = RI$.

L'unité de force électromotrice est celle qui produirait un courant d'intensité égale à l'unité dans un circuit dont la résistance serait égale à l'unité absolue de résistance.

28. — La quantité d'électricité Q qui traverse un conducteur est proportionnelle au produit It de l'intensité par le temps pendant lequel passe le courant, ce qui permet de poser, en supprimant tout coefficient arbitraire

$$Q = It.$$

L'unité de quantité est la quantité d'électricité qui traverse un conducteur pendant une seconde, lorsque l'intensité du courant est égale à l'unité. On verra plus loin comment on peut mesurer la quantité d'électricité dont un conducteur est chargé.

29. — Pour charger un condensateur, on met ses deux armatures en communication avec les deux pôles d'une source électrique ou seulement une des armatures avec un des pôles si le second pôle et la seconde armature communiquent avec la terre.

La charge Q d'un condensateur est proportionnelle à la force électromotrice E de la source électrique et à une quantité qui dépend de la forme des armatures, de leurs dimensions et de la nature du corps isolant qui les sépare. En représentant cette quantité par S, on a

$$Q = SE.$$

S représente la capacité électrostatique du condensateur ; on la mesure par le rapport $\frac{Q}{E}$ de la charge Q à la grandeur de la force électromotrice avec laquelle elle a été produite.

L'unité de capacité électrostatique est celle d'un condensateur, qui chargé avec une force électromotrice égale à l'unité, prendrait une charge électrique égale à l'unité de quantité.

Unités pratiques.

30. — Les unités électriques absolues fondées sur le système centimètre, gramme, seconde, ne sont pas en rapport avec les grandeurs qu'on a à mesurer en général dans la pratique. Ainsi l'unité absolue de résistance CGS est celle d'un fil de fer de 4 millimètres de diamètre et qui aurait pour longueur à peine $\frac{1}{10.000}$ de centimètre. L'unité de force électromotrice est égale à environ $\frac{1}{100}$ de celle d'un élément Daniell.

On a donc été amené à prendre pour unités pratiques des multiples des unités absolues CGS, en adoptant pour multiplicateurs des puissances de 10 convenablement choisies.

31. — Pour unité de résistance, on a adopté l'unité absolue CGS multipliée par 10^9 et on lui a donné le nom d'*ohm*. C'est en réalité l'ohm qu'on a déterminé directement par l'expérience ; il représente à peu près la résistance d'un fil de fer de 4 millimètres de diamètre et de 100 mètres de longueur.

Pour la mesure des grandes résistances telles que celle de l'enveloppe des câbles sous-marins, on prend pour unité un multiple de l'ohm, le *megohm*, égal à un million d'ohms.

32. — Pour unité de force électromotrice, on a adopté pour unité pratique, sous le nom de *volt*, l'unité absolue de force électromotrice multipliée par 10^8, égale à peu près à la force électromotrice d'un élément Daniell.

33. — Le volt et l'ohm étant fixés, l'unité d'intensité en découle naturellement, c'est celle du courant produit par une force électromotrice d'un volt dans un circuit ayant une résistance égale à un ohm.

La conférence internationale des électriciens a donné à cette unité le nom d'*ampère*.

$$1 \text{ ampère} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ohm}}.$$

Le volt étant égal à 10^8 et l'ohm à 10^9 unités absolues C G S, il en résulte que l'ampère est égal à $\frac{1}{10}$ de l'unité absolue d'intensité.

34. — L'ampère représente à peu près l'intensité du courant qui serait produit, par un élément formé de 10 éléments Daniell ordinaires (de $0^m,10$ de hauteur) accouplés en surface et dont le circuit serait fermé directement sans résistance extérieure. C'est une unité convenable pour l'étude des courants employés pour la lumière électrique ou pour la transmission de la force par les machines magnéto-électriques, mais elle est trop grande pour la mesure des faibles courants dont on fait usage habituellement dans le service télégraphique. On a adopté pour sous-multiple, sous le nom de *milli-ampère*, l'intensité du courant égal à un millième d'ampère.

Les appareils télégraphiques fonctionnent avec un courant d'environ 13 milli-ampères, ou de 0,013 ampère.

35. — L'intensité peut se mesurer, comme on l'a vu, avec une boussole de tangentes. Elle est exprimée en unités absolues C G S par la formule du nº 21.

$$I = \frac{r^2 h}{l} \operatorname{tang} \theta.$$

Pour avoir cette intensité en ampères, il suffit de multiplier le résultat par 10, et par 10.000 si on veut l'avoir en milli-ampères ; ce qui donne :

$$I = \frac{10 hr^2}{l} \text{tang}\,\theta \text{ ampères},$$

et

$$I = \frac{10.000 hr^2}{l} \text{tang}\,\theta \text{ milli-ampères.}$$

36. — L'unité de quantité d'électricité dans le système des unités pratiques est la quantité qui serait transmise, pendant une seconde, par un courant égal à 1 ampère. Cette unité a reçu le nom de *coulomb*.

Elle est égale à $\frac{1}{10}$ de l'unité absolue CGS de quantité.

37. — La quantité d'électricité que prend un conden sateur, le conducteur d'un câble souterrain ou sous-marin par exemple, peut se mesurer directement par l'impulsion que reçoit l'aiguille d'un galvanomètre, dont le fil est parcouru par cette quantité d'électricité pendant la charge ou la décharge.

Si la boussole est une boussole de tangentes, dont le fil de longueur l est enroulé sur un cadre circulaire de rayon r, et si t est la durée d'une oscillation simple de l'aiguille, mesurée directement avant l'expérience, on a, en représentant par γ l'angle qu'elle décrit sous l'impulsion de la charge ou de la décharge, pour la quantité d'électricité qui traverse le cadre exprimée en unités CGS :

$$Q = \frac{2 hr^2 t}{\pi l} \text{tang}\,\gamma. \quad (*)$$

(*) On trouve cette formule en appliquant au mouvement de l'aiguille la formule du pendule balistique.

La valeur de Q en coulombs est donc

$$Q = 10 \times \frac{2hr^2t}{\pi l} \operatorname{tang}\gamma$$

ou

$$= \frac{20hr^2t}{\pi l} \operatorname{tang}\gamma \text{ coulombs,}$$

h, r et l étant exprimés dans ces formules en unités CGS, et π représentant le rapport de la circonférence un diamètre, soit 3,14.

38. — L'unité pratique de capacité électrostatique est la capacité d'un condensateur qui prend une charge égale à 1 coulomb lorsqu'une de ses armatures est en relation avec une force électromotrice égale à 1 volt, l'autre armature étant une relation avec le second pôle soit directement, soit par l'intermédiaire de la terre. Cette unité a reçu le nom de *farad*.

Cette unité est trop grande pour les besoins ordinaires de la pratique ; aussi a-t-on adopté pour la mesure de la capacité électrostatique des câbles sous-marins sous le nom de *micro-farad* $\frac{1}{1\,000\,000}$ de farad.

La capacité électrostatique d'un câble sous-marin est en moyenne de 0,17 microfarad ou $\frac{0,17}{1\,000\,000}$ de farad par kilomètre de longueur.

39. — Un câble sous-marin de longueur égale à a kilomètres, chargé avec une pile de n éléments Daniell, ayant 1 volt chacun de force électromotrice, prend une charge égale à

$$a \times \frac{0.17}{1.000.000} \times n \text{ coulombs.}$$

Pour que cette charge fût de 1 coulomb, on devrait avoir :

$$an \times \frac{0,17}{1.000.000} = 1$$

ou environ

$$an = 5.900.000.$$

Si le nombre n des éléments est égal à 20, la formule donne

$$a = 295.000.$$

Ainsi un câble sous-marin, chargé avec une pile de 20 éléments Daniell, devrait avoir une longueur d'environ 295.000 kilomètres pour prendre une quantité d'électricité égale à un coulomb, c'est-à-dire à celle qui est transmise en une seconde par un courant égal à 1 ampère, et de 295 kilomètres pour que cette charge fût égale à celle qui est transmise dans une seconde par un courant de 1 milli-ampère.

40. *Unités légales.* — L'ohm, qui sert de point de départ pour la mesure des unités électriques, a été déterminé par l'expérience, et il est évident que l'on n'a pu en avoir qu'une valeur approchée.

En exprimant les valeurs trouvées par la longueur en centimètres d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section, on a été conduit aux nombres suivants :

Expériences de l'Association britannique, en 1862 . .	104,83
— de lord Rayleigh, en 1882.	106,17
— de M. Mascart	106,19
— de M. Lorenz.	106,19
— de M. Baille	105,37
etc.	

A la suite d'une assez longue discussion, la conférence internationale des électriciens de 1884 s'est arrêtée au chiffre rond de 106 centimètres, probablement inférieur à la véritable valeur de l'ohm, mais qui cependant la représente avec une approximation très suffisante pour la pratique.

Ainsi l'ohm légal est la résistance qu'offre au courant une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 106 centimètres de longueur, et on peut le définir ainsi sans, se préoccuper des moyens par lesquels il a été déterminé.

41. — Quant à l'ampère, ou à l'unité légale d'intensité du courant, c'est celle du courant qui, en traversant le fil d'une boussole de tangentes, donnerait une déviation θ telle qu'on ait (n° 35)

$$\frac{10hr^2}{l}\operatorname{tang}\theta = 1,$$

ou

$$\operatorname{tang}\theta = \frac{l}{10hr^2},$$

dans laquelle h est l'intensité du magnétisme terrestre, égale à environ 0.194, r et l le rayon et la longueur du fil conducteur en centimètres.

Le milli-ampère est l'intensité du courant qui donnerait une déviation θ_1 telle que

$$\operatorname{tang}\theta_1 = \frac{l}{10.000\,hr^2}.$$

Les bonnes boussoles de tangentes permettent de mesurer une intensité en ampères à $\frac{1}{500}$ près.

42. — On peut également mesurer l'intensité d'un courant par son action électro-chimique.

Il résulte d'expériences de MM. William Thomson, Kolrausch et Mascart qu'un ampère, en traversant une dissolution d'un sel d'argent, réduit, par seconde, un poids d'argent de $1^{mg},1172$, et, en traversant un voltamètre à eau, décompose $0^{mg},0932$ d'eau. Ces nombres sont obtenus à $\frac{1}{500}$ près et permettent de

mesurer l'intensité d'un courant en ampère sans l'intervention d'aimants.

43. — La force électromotrice est liée à l'intensité et à la résistance par la relation :

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{ou} \quad E = RI.$$

Or l'ohm légal ne représente la véritable valeur de l'ohm théorique qu'avec une certaine approximation, et par conséquent la résistance d'un circuit, R, exprimée en fonction de l'ohm légal n'est pas exactement la résistance absolue; l'unité d'intensité, au contraire, est l'unité absolue, et l'approximation avec laquelle on mesure l'intensité d'un courant dépend uniquement de la qualité de l'instrument employé; pour conserver l'équation $E = IR$, il faut donc que l'unité de force électromotrice ne soit pas rigoureusement l'unité absolue.

Aussi la conférence internationale des électriciens a-t-elle décidé que le *volt* serait défini non comme l'unité absolue de force électromotrice, mais comme étant la force électromotrice qui fait passer un courant d'un ampère vrai dans l'ohm légal.

44. — On représente habituellement l'ohm par la lettre ω, le mégohm par la lettre majuscule Ω, l'ampère par la lettre majuscule Γ, et le milliampère par la lettre γ.

Données diverses applicables au service télégraphique.

Nous terminerons cette revue des unités par l'indication d'un certain nombre de données pratiques et de

constantes d'un usage courant dans le service télégraphique.

45. *Résistances.* — La résistance des fils de fer employés à la construction des lignes électriques, prise à la température de 0°, et calculée pour un fil de 1 millimètre de diamètre, ne doit pas dépasser, d'après les cahiers des charges, 156 ohms par kilomètre, ce qui donne pour la résistance d'un kilomètre à la température ordinaire environ :

Pour le fil de 5 millim. de diamètre.	6,2 ohms
— de 4 — —	9,8 —
— de 3 — —	17,3 —

Les résistances qu'on trouve sur les lignes sont, en général, un peu plus élevées, par suite des défauts de conductibilité qu'offrent souvent les soudures des fils.

46. — Pour les lignes souterraines deux modèles ont été adoptés en France : pour l'un d'eux (modèle G), le conducteur est formé de 7 brins de $0^{mm},75$ de diamètre; pour l'autre (modèle M), il comprend 7 brins de $0^{mm},6$.

La résistance kilométrique ne doit pas dépasser, à la température ordinaire :

Pour le modèle G.	7 ohms
— M.	10 —

47. — L'isolement des fils conducteurs aériens dépend de l'état de l'atmosphère; quant au diamètre des fils, il a en général peu d'influence parce que les dérivations ont surtout lieu aux points d'appui.

Avec les isolateurs à double cloche actuellement en usage, lorsqu'ils sont bien entretenus on peut admettre pour la résistance de la dérivation qui correspond à un kilomètre :

Pour les temps de grande pluie, environ. .	3	mégohms
— ordinaires	20	—
— très secs.	60 à 80	—

48. — Pour les câbles souterrains et sous-marins le pouvoir isolant de l'enveloppe de gutta-percha décroît rapidement avec l'élévation de la température ; à 18 ou 20° la conductibilité de l'enveloppe est à peu près double de ce qu'elle est à 4° centigrade ; à 28° elle est triple.

On peut admettre 5 à 600 megohms au moins pour la résistance d'isolement par kilomètre des câbles sous-marins ordinaires, dont l'enveloppe de gutta-percha a une épaisseur de 2^{mm},80 et qui sont immergés à une profondeur suffisante pour qu'on puisse considérer leur température comme ne dépassant pas 4 à 5°.

Pour les conducteurs souterrains, modèles M et G, dont il a été question plus haut et dont l'enveloppe a une épaisseur moyenne de 2^{mm},10, la résistance d'isolement par kilomètre, à la température de 24 degrés centigrades, ne doit pas être inférieure à 300 megohms.

L'isolement des câbles souterrains et sous-marins varie avec la durée de la charge. Les chiffres qui précèdent s'appliquent à l'isolement mesuré après 2 minutes d'envoi du courant dans le conducteur isolé à son extrémité.

49. — Les bobines des appareils Morse employées en France ont ordinairement chacune une résistance de 250 ohms, ce qui donne 500 ohms pour les deux bobines placées dans le circuit à la suite l'une de l'autre. Pour les appareils Hughes, qui sont surtout destinés aux transmissions à grande distance, chaque bobine a une résistance de 600 ohms, soit 1.200 ohms pour les deux.

50. *Force électromotrice et résistance des piles usuelles.* — Les piles qu'on emploie en France dans le service télégraphique sont ordinairement : la pile Daniell, la pile Callaud, la pile Marié-Davy et la pile Leclanché.

La résistance d'un élément dépend de ses dimensions, qui n'ont pas d'effet sensible sur la force électromotrice.

La force électromotrice des éléments Daniell et Callaud est sensiblement égale à 1 volt; quant à leur résistance, elle est de 8 à 10 ohms environ pour les éléments de $0^m,15$ de hauteur et de 5 à 6 ohms pour les éléments de $0^m,25$ de hauteur.

L'élément Marié-Davy de $0^m,10$ de hauteur a une force électromotrice égale à 1,27 volt et une résistance d'environ 6 ohms.

Pour l'élément Leclanché, la force électromotrice diminue assez rapidement par suite de la polarisation des électrodes, lorsque le courant dure un certain temps; mais, pendant les transmissions télégraphiques, la durée des émissions étant toujours très brève, on peut ne pas tenir compte de la polarisation et admettre pour la force électromotrice 1,20. Quant à la résistance, elle est, pour les éléments carrés de $0^m,13$ de hauteur, égale à environ 6 ohms.

51. *Intensité.* — L'intensité du courant qui doit traverser les appareils télégraphiques pour les faire fonctionner dépend de la sensibilité des récepteurs et du nombre de tours que forme le fil conducteur des bobines.

Pour les appareils Morse ordinaires employés en France, dont chaque bobine se compose de 7.000 tours de fil de $0^{mm},2$ de diamètre, et qui offrent ensemble,

ainsi qu'il a été dit plus haut, une résistance de 500 ohms, l'intensité du courant nécessaire pour obtenir une bonne transmission est d'environ 13 milli-ampères.

Les appareils Hughes peuvent marcher avec une intensité de 11 milli-ampères.

52. *Capacité et quantité.* — La capacité électrostatique des câbles souterrains et sous-marins est environ de 0,17 microfarads par kilomètre.

53. — Les fils aériens sont soumis à l'influence inductrice de la terre, qui agit comme l'enveloppe extérieure des câbles sous-marins, mais leur capacité électrostatique est infiniment plus faible. Pour un conducteur de 4 millimètres de diamètre situé à une hauteur moyenne de 4 mètres au-dessus du sol, la capacité électrostatique est, par kilomètre, d'environ 0,007 microfarad, soit à peu près $\frac{1}{25}$ de celle du conducteur d'un câble sous-marin ordinaire de même longueur. Elle est ordinairement négligeable dans la pratique.

II

APPAREILS D'EXPÉRIMENTATION.

54. — Il est important que les lignes électriques soient soumises à des expériences périodiques, ayant pour but de permettre d'apprécier leur état, de reconnaître les défauts qui, en s'accentuant, pourraient compromettre les transmissions, et enfin de fournir des renseignements dont on puisse tirer un parti utile pendant la recherche des dérangements.

On fait ces expériences sur les lignes sous-marines et souterraines au moyen de galvanomètres très sensibles, de rhéostats gradués avec soin, de condensateurs, de ponts de Wheatstone, etc.; mais pour les lignes aériennes, on n'a pas besoin d'une aussi grande précision, et l'on peut se contenter d'un bon galvanomètre ordinaire et de quelques bobines de résistance.

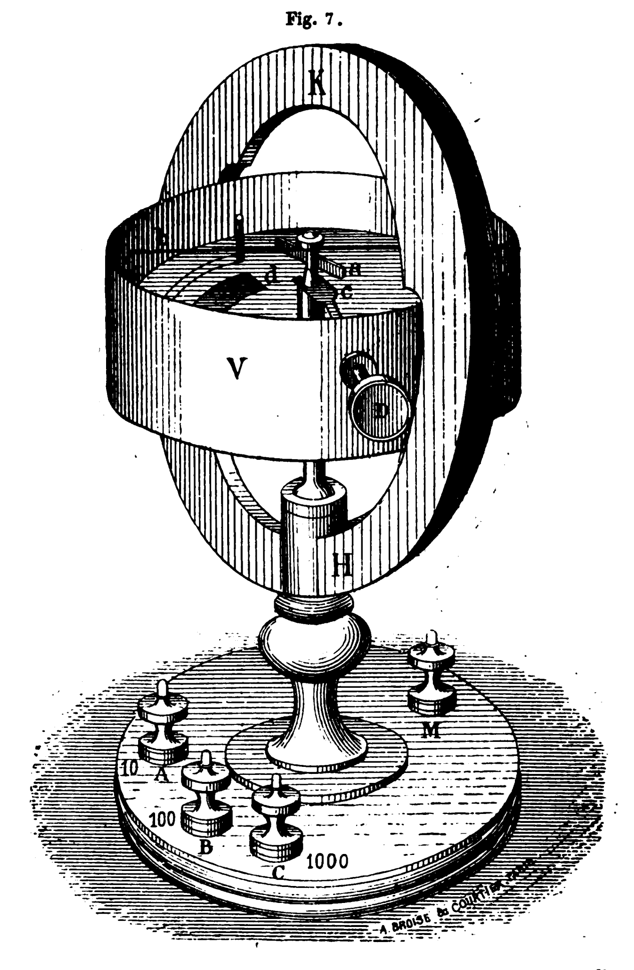
Nous allons indiquer les instruments que l'administration française a fait construire dans ce but pour les bureaux principaux du réseau télégraphique, et l'emploi qui doit en être fait.

Galvanomètre.

55. — Le galvanomètre (*fig.* 7) est une boussole de tangentes dont le fil conducteur est enroulé sur un cadre circulaire en cuivre KH de 9 millimètres de largeur, de 13 centimètres de diamètre intérieur et de 18 cen-

timètres de diamètre extérieur (*). On aurait pu n'avoir qu'un seul enroulement du fil sur le cadre,

Fig. 7.



(*) Cette boussole est de même forme et de même dimension que celle qui a été adoptée par le Post-office de Londres; mais les nombres de tours du fil pour les divers circuits sont différents. Le modèle anglais porte d'un côté la graduation en degrés, et de l'autre la graduation en tangentes; cette dernière a été supprimée dans les boussoles françaises.

sauf à introduire, suivant les besoins, entre les bornes d'entrée et de sortie, des dérivations (shunts) convenablement choisies, de façon à ne faire traverser le circuit qui agit sur l'aiguille que par une fraction du courant; mais l'emploi des shunts est assez délicat et il a paru préférable de diviser le fil du cadre en trois circuits de façon à permettre d'avoir à volonté 10, 100 et 1.000 tours.

Ces trois circuits aboutissent aux quatre bornes M, A, B et C, dont la première est placée d'un côté du pied de l'instrument et les trois autres de l'autre côté. Le fil a dans toute sa longueur un diamètre uniforme d'environ $0^{mm},23$.

Le premier circuit, de M à A, forme 10 tours; le second, de A à B, 90 tours; et le troisième, de B à C, 900 tours.

56. — Pour se servir de cette boussole, on attache une des extrémités du circuit à essayer en M, et l'autre en A, B ou C, suivant le nombre des tours qu'on veut faire traverser au courant.

Avec la communication	M — A,	on a	10 tours
—	— M — B,		100 —
—	— M — C,		1.000 —

La *fig.* 8 reproduit le schema qui se trouve sur la boîte de chaque galvanomètre.

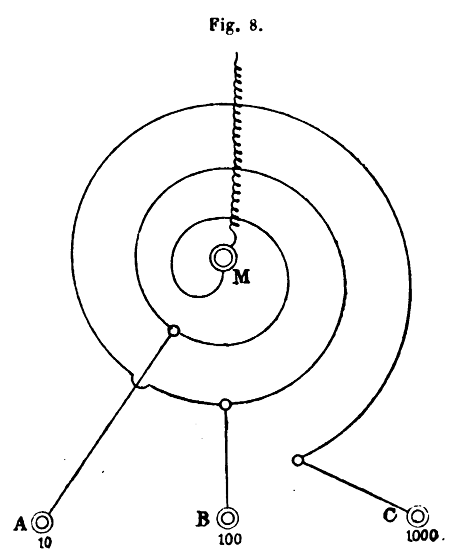
On pourrait avoir 90, 900 et 990 tours, en faisant aboutir les extrémités du circuit en A et B, B et C, A et C; mais ces combinaisons n'offrent aucun avantage, et il est inutile de s'en servir.

Les résistances des trois circuits sont à peu près :

1° De M en A,	10 tours,	2 ohms
2° De M en B,	100 —	20 —
3° De M en C,	1.000 —	225 —

57. — L'aimant mobile est un petit barreau d'acier aimanté a, de 2 centimètres de longueur et de très faible largeur, soutenu par une chape qui se meut sur un pivot.

Fig. 8.



Une longue aiguille de cuivre fixée à la même chape tourne, au-dessus d'un cadran gradué en degrés ordinaires des deux côtés du zéro, qui se trouve sur la normale menée par le centre du pivot au plan du cadre fixe. Un miroir circulaire, fixé sur le fond de la boîte, facilite la lecture des déviations qu'on prend en se plaçant au-dessus, de façon que l'aiguille coïncide avec son image.

Un petit anneau c, qu'on peut manœuvrer en tournant une vis extérieure D, permet de laisser l'aiguille reposer sur son pivot ou de la soulever pour l'en dégager, lorsqu'on veut transporter l'instrument.

58. — L'intensité du courant qui, en traversant la

boussole, produit une déviation θ, peut se déduire directement des dimensions du cadre, du nombre de tours et de la composante horizontale du magnétisme terrestre. Si h est cette composante en unités CGS, r et l le rayon moyen et la longueur du fil enroulé exprimés en centimètres, on a pour l'intensité en ampères (n° 35)

$$I = \frac{10hr^2}{l} \operatorname{tang}\theta \text{ ampères,}$$

et en milli-ampères

$$I = \frac{10.000hr^2}{l} \operatorname{tang}\theta \text{ milli-ampères.}$$

Si n est le nombre de tours du fil, $l = 2\pi nr$. En faisant la substitution, on obtient les formules

$$I = \frac{10hr}{2\pi n} \operatorname{tang}\theta \text{ ampères,}$$

et

$$I = \frac{10.000hr}{2\pi n} \operatorname{tang}\theta \text{ milli-ampères.}$$

Le rayon moyen des tours est sensiblement égal à 6,5 centimètres pour le circuit de 10 tours; 6,8 centimètres pour celui de 100 tours; 7,7 pour celui de 1.000 tours. Quant à la composante horizontale du magnétisme terrestre h, elle est actuellement à Paris, ainsi qu'il a été dit précédemment, égale à 0,194.

En remplaçant dans les formules ci-dessus h et r par ces nombres et en faisant n égal successivement à 10, 100 et 1.000, on trouve :

1° Pour le circuit de 10 tours :

$$I = 0{,}198 \operatorname{tang}\theta \text{ ampères}$$

et

$$I = 198 \operatorname{tang}\theta \text{ milli-ampères.}$$

2° Pour celui de 100 tours :

$$I = 0{,}020 \tang \theta \text{ ampères}$$

ou

$$I = 20 \tang \theta \text{ milli-ampères.}$$

3° Pour celui de 1.000 tours :

$$I = 0{,}0022 \tang \theta \text{ ampères}$$

ou

$$I = 2{,}2 \tang \theta \text{ milli-ampères.}$$

Les coefficients de tang θ représentent les intensités des courants en ampères ou en milli-ampères qui donneraient une déviation de 45°, dont la tangente trigonométrique est égale à l'unité.

59. — Ces formules sont établies en supposant négligeables la largeur du cadre et la longueur de l'aiguille, en admettant qu'il n'existe pas de cause perturbatrices dues à la présence de masses magnétiques dans le voisinage et que le pivot sur lequel repose l'aiguille ne donne lieu à aucun frottement.

Dans la pratique, le nombre par lequel il faut multiplier la tangente de la déviation pour avoir l'intensité réelle, nombre qu'on peut appeler *constante* de l'instrument(*), diffère un peu des chiffres précédents, et même n'est pas absolument constant pour toute l'étendue du cadran. C'est surtout le frottement de l'aiguille sur son pivot qui apporte un trouble à la mesure des intensités. Le frottement diminuerait toujours la sensibilité de la boussole, si l'aiguille en partant de zéro arrivait lentement à sa position d'équilibre; mais comme, en général, elle dépasse rapidement cette position pour y revenir après quelques oscillations, il arrive le plus

(*) Cette constante diffère de ce qu'on nomme ordinairement la constante des galvanomètres destinés aux essais des lignes souterraines et sous-marines, qui est la déviation produite dans l'instrument par un élément Daniell, lorsque la résistance totale est 1 mégohm.

souvent que le nombre de degrés indiqués est un peu supérieur au nombre théorique ou, en d'autres termes, que la constante de l'instrument est diminuée.

L'influence sur la déviation du frottement de l'aiguille contre son pivot dépend de l'état des surfaces en contact qu'il convient d'entretenir avec soin, et aussi de l'état magnétique du barreau aimanté. En effet, bien que théoriquement la déviation soit indépendante de cet état magnétique, la force qui agit sur les pôles est proportionnelle à leur intensité, et l'aiguille s'arrête lorsque cette force fait équilibre au frottement. Pour diminuer cette influence on doit toujours avoir soin de frapper un léger coup sur la glace supérieure de la boussole quand l'aiguille est sur le point de s'arrêter.

Il convient d'ailleurs de réaimanter les barreaux des galvanomètres lorsqu'on reconnaît, par la lenteur des oscillations, que leur magnétisme a diminué.

60. — On verra plus loin comment la constante d'une boussole peut se déterminer dans la pratique. Pour plusieurs de celles qui ont été construites aux ateliers du ministère des postes et des télégraphes, les trois constantes étaient, en milli-ampères, à peu près : 18 pour le circuit de 100 tours, et 1,8 pour celui de 1.000 tours au lieu de 20 et 2,2 qu'indique la théorie.

61. — Le tableau ci-joint donne la valeur des tangentes trigonométriques de degrés en degrés. On peut, pour les faibles déviations, remplacer les tangentes par la longueur des arcs correspondant aux angles, mais comme il faut calculer ces arcs, il est aussi simple de se servir de la table des tangentes, sauf cependant lorsqu'on a besoin seulement d'avoir le rapport de deux intensités, auquel cas celui des dévia-

tions en degrés donne une approximation suffisante, si elles ne dépassent pas 20 à 25 degrés.

Table des tangentes.

DEGRÉS.	TANGENTES.	DEGRÉS.	TANGENTES.	DEGRÉS.	TANGENTES.
0	0,000	30	0,557	60	1,732
1	0,017	31	0,601	61	1,804
2	0,035	32	0,625	62	1,881
3	0,052	33	0,649	63	1,963
4	0,070	34	0,674	64	2,050
5	0,087	35	0,700	65	2,144
6	0,105	36	0,726	66	2,246
7	0,123	37	0,754	67	2,356
8	0,140	38	0,781	68	2,475
9	0,158	39	0,810	69	2,605
10	0,176	40	0,839	70	2,747
11	0,194	41	0,869	71	2,904
12	0,213	42	0,900	72	3,078
13	0,231	43	0,932	73	3,271
14	0,249	44	0,966	74	3,487
15	0,268	45	1,000	75	3,732
16	0,287	46	1,035	76	4,011
17	0,306	47	1,072	77	4,331
18	0,325	48	1,111	78	4,705
19	0,344	49	1,150	79	5,144
20	0,364	50	1,192	80	5,671
21	0,384	51	1,235	81	6,314
22	0,404	52	1,280	82	7,115
23	0,424	53	1,327	83	8,144
24	0,445	54	1,376	84	9,514
25	0,466	55	1,428	85	11,430
26	0,488	56	1,483	86	14,301
27	0,509	57	1,540	87	19,081
28	0,532	58	1,600	88	28,636
29	0,554	59	1,664	89	57,290
				90	infini

Appareil de résistance.

62. — L'appareil de résistance comprend seulement

deux bobines M et N (*fig.* 9) ayant chacune 500 ohms de résistance.

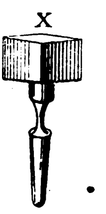
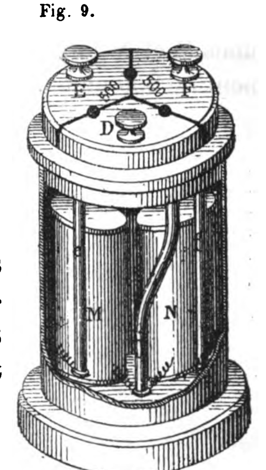


Fig. 9.



Les extrémités du fil de la bobine M aboutissent par l'intermédiaire des tiges verticales *e* et *j*, l'une à la pièce métallique E fixée sur le sommet de la boîte, l'autre à la pièce D. Les extrémités du fil de la seconde bobine aboutissent de même, par les tiges *j* et *f*, l'une à la pièce D et l'autre à la pièce F.

Les trois pièces métalliques D, E, F sont isolées les unes des autres; mais on peut les faire communiquer deux à deux au moyen de bouchons métalliques X. Chacune d'elles porte une borne à contre-écrou qui sert à fixer un des bouts du circuit dans lequel on veut introduire l'instrument.

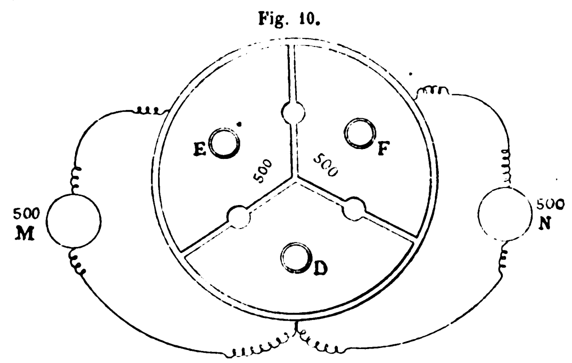
63. — Cet appareil permet d'introduire à volonté et instantanément une résistance de 1.000, de 500 ou de 250 ohms dans un circuit.

1° La résistance introduite est égale à 1.000 ohms lorsque les fils extérieurs sont attachés en E et F (*fig.* 10) et qu'aucune communication n'est établie entre les trois plaques.

2° On obtient une résistance de 500 ohms soit en attachant les fils extérieurs en D et E, ou en D et F, sans chevilles, soit en les fixant en E et F et en plaçant une cheville entre E et D ou entre D et F, de façon à annuler l'une des deux bobines.

3° En attachant les fils extérieurs en D et F ou en D et E, et plaçant une cheville entre E et F, on introduit simultanément, en dérivations, les deux bobines M et N dans le circuit, et la résistance est seulement de 250 ohms.

Fig. 10.



4° Enfin, en plaçant nne cheville entre les plaques E et F, si les fils extérieurs aboutissent à ces deux plaques, la résistance introduite est nulle, ce qu'on peut aussi réaliser au moyen de deux chevilles entre E et D et entre D et F.

64. — On aurait eu une combinaison de plus en adoptant deux bobines inégales; mais la disposition précédente a paru plus simple, donner moins de chances d'erreur et surtout avoir l'avantage de permettre de s'assurer facilement, en intercalant alternativement l'une ou l'autre des bobines de 500 ohms dans un circuit, que leur résistance n'a pas varié d'une manière sensible. On peut admettre que ces bobines représentent à un centième près les résistances de 500 ohms indiquées sur l'instrument.

Pile étalon.

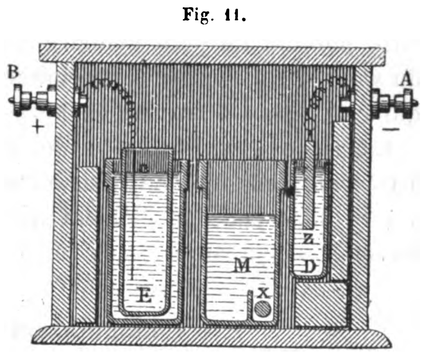
65. — Afin de pouvoir déterminer facilement la cons-

tante des galvanomètres chaque fois qu'on a à s'en servir, et de pouvoir mesurer la force électromotrice des piles employées à la transmission télégraphique, l'Administration a fait établir un élément Daniell semblable à celui dont on fait usage au Post-Office et qui accompagne le galvanomètre et les bobines de résistance.

L'élément est démonté à l'état ordinaire pour éviter toute consommation inutile, et n'est mis en état de fonctionner qu'au moment où l'on veut s'en servir.

La boîte, dans laquelle il est contenu (*fig.* 11), renferme trois vases distincts en ébonite ; dans celui de droite est placée une lame de zinc reliée à la borne extérieure A ; dans celui de gauche est un vase poreux rempli d'une dissolution de sulfate de cuivre saturée par des cristaux déposés au fond et une lame de cuivre reliée à la borne extérieure B.

Fig. 11.



Le compartiment du milieu renferme une dissolution de sulfate de zinc et, au fond, un petit cylindre de même métal.

66. — Pour se servir de cet élément, on place, après avoir enlevé le couvercle, le vase poreux contenant la lame de cuivre C dans le compartiment du milieu M, et, à côté, le zinc Z, sans rompre leurs liaisons avec les bornes A et B ; puis on attache à ces deux bornes les

fils conducteurs dans lesquels on veut faire passer le courant.

Le vase M étant rempli d'une dissolution de sulfate de zinc et le vase poreux imprégné de sulfate de cuivre, l'élément prend instantanément sa force électromotrice normale et est prêt à servir aux expériences.

Dès qu'on a terminé, on replace le vase poreux dans l'auge en gutta-percha de gauche, le zinc dans l'auge de droite, et l'on referme la boîte dont le couvercle retarde l'évaporation, d'ailleurs très lente, des liquides. Si le niveau baisse, il suffit d'ajouter un peu d'eau dans le compartiment du milieu et dans le vase poreux. Le petit cylindre de zinc placé au fond du vase M est destiné à précipiter le cuivre du sulfate qui a pu passer à travers les pores du vase poreux.

La force électromotrice de cet élément est de 1,07 volt; quant à sa résistance, elle est d'environ 7 à 8 ohms pour un élément neuf et de 5 à 6 ohms lorsqu'il a déjà servi.

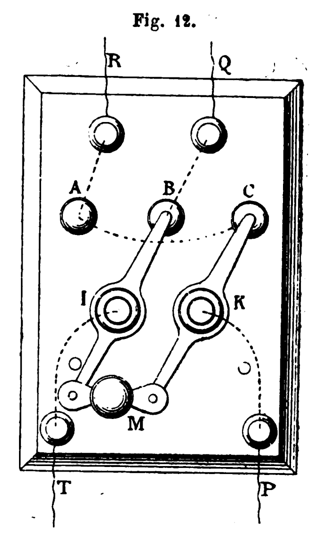
Commutateur.

67. — Pour pouvoir établir et rompre facilement les communications, on installe un commutateur sur la table d'expériences, et, comme il est utile de pouvoir renverser facilement le sens du courant, il convient de prendre un inverseur d'un modèle quelconque, tel, par exemple, que celui de la *fig.* 12.

Il comprend deux ressorts, isolés l'un de l'autre, mobiles sur les axes I et K, et qu'on fait mouvoir simultanément au moyen d'une petite poignée M, de façon à faire reposer leurs extrémités soit sur le bois, soit sur les deux contacts B et C, soit sur les deux

contacts A et B. Les contacts A et C sont reliés à la borne R, le contact B à la borne Q, l'axe I du premier ressort à la borne T, et l'axe du second à la borne P.

Fig. 12.



Les bornes R et Q sont reliées au galvanomètre par l'intermédiaire de l'appareil de résistance; en P et en T, on attache, suivant les expériences à faire, soit deux fils allant aux deux pôles de la pile, soit un fil de pile et un fil de ligne, soit un fil de ligne et un fil de terre.

Installation des appareils.

68. — Les appareils d'expérimentation doivent, autant que possible, être installés à poste fixe sur une table spéciale, comme l'indique la *fig.* 13.

G est la boussole de tangentes qui doit être préalablement orientée, de façon à n'avoir qu'à la déplacer légèrement lorsque, au moment de s'en servir, on reconnaît que l'aiguille indicatrice ne se trouve pas exactement au-dessus du zéro de la division. Elle communique par la borne M et d'une façon permanente à la borne E de l'appareil de résistance H. Deux fils partent des bornes R et Q du commutateur inverseur K, mais leurs extrémités *g* et *f* sont libres. On attache la première à l'une des bornes A, B ou C, de la boussole, suivant que le nombre des tours parcourus par le courant doit être 10, 100 ou 1.000. Quant à l'extrémité du

second fil, on la fixe soit à la borne F de l'appareil de résistance, soit à la borne D. Ainsi qu'on l'a vu, on a dans le premier cas 1.000 ohms de résistance si aucune

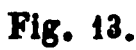
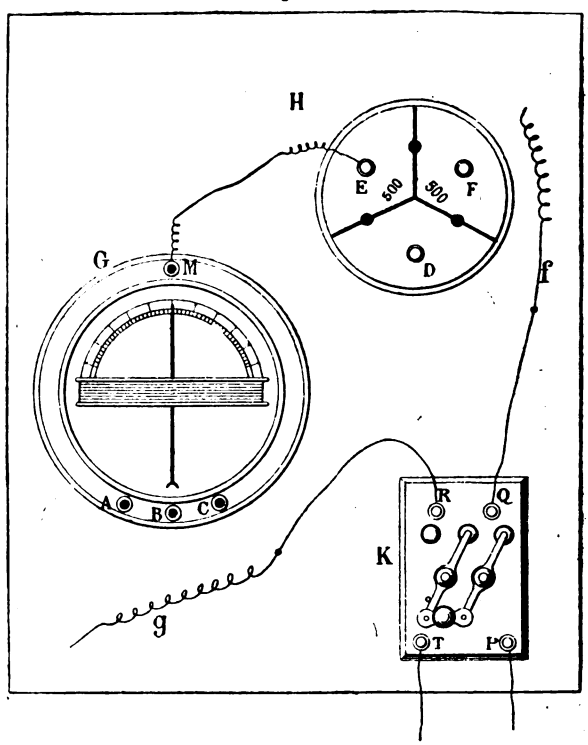


Fig. 13.



cheville n'est placée entre les plaques ; 500 ohms, si une cheville est placée entre D et E ou entre D et F ; une résistance nulle si une cheville est placée entre E et F. Pour avoir une résistance de 250 ohms, on attache le fil *h* à la borne D, et on place une cheville entre E et F. Aux bornes T et P, on fait aboutir, suivant les expériences à faire, les fils de pile, les fils de terre, ou les fils de lignes.

(*A suivre.*)

CHRONIQUE.

Communications télégraphiques sans fils.

Les premières expériences sur les communications télégraphiques sans fils conducteurs remontent déjà à une époque assez éloignée, puisque, dès 1844, MM. Morse, Gal, Vail et Rogers étudiaient cette question sur la rivière Susquehanna, au Hâvre-de-Grâce près Baltimore. En 1870, pendant le siège de Paris, M. Bourbouze renouvela la tentative sur la Seine dans le but de relier la capitale et la province; ces essais, pas plus que ceux exécutés en 1876 entre les ponts d'Iéna et d'Austerlitz, ne furent couronnés d'un succès assez décisif pour qu'il crût devoir les continuer.

Cependant la question ne fut pas abandonnée; le professeur Trowbridge, du collège américain Harward, la reprit quelques années après et proposa de télégraphier sans fil à travers l'Océan. Plus récemment encore, en 1882, M. Preece exécuta l'expérience entre l'île de Wight et Southampton, mais la chose en resta là et personne ne songea à la faire entrer dans la pratique.

Le professeur Bell a poursuivi les études de ses devanciers et les a appuyées de sa haute autorité : ses recherches l'ont amené à faire au dernier Congrès de l'Association américaine pour l'avancement des Sciences, une communication sur la possibilité de l'échange des signaux télégraphiques sans fil entre les navires en mer.

Voici comment M. Bell dispose l'expérience : Sur un des navires est un téléphone dont l'un des fils passe en avant et l'autre plonge dans la mer à l'arrière; sur l'autre vaisseau, la disposition est analogue, mais le téléphone est remplacé par une pile ou par une machine dynamo-électrique, donnant un courant de haute tension. Le circuit contient, en outre, un interrupteur, et ce sont les interruptions successives du courant qui produisent dans le téléphone récepteur une note musicale continue, au moyen de laquelle on peut transmettre certains signaux.

Quelque imparfaite que soit cette disposition, on n'en distingue pas moins clairement la note du téléphone, et dans les expériences qu'il vient de faire sur la rivière Potomac, M. Bell a trouvé que, jusqu'à une distance de 2 kilomètres, le son dû à l'action de l'interrupteur sur un navire était nettement perceptible sur l'autre. Un alphabet a même été improvisé pour l'échange des communications, et les expérimentateurs se sont mis facilement au courant de ce nouveau langage. L'innovation de ces derniers essais sur ceux du professeur Trowbridge et ceux du professeur Adam, du Collège royal de Londres, consiste dans la substitution du téléphone au galvanomètre employé jusqu'à cette époque.

Quoiqu'il en soit, si la méthode est réellement pratique, elle peut présenter de sérieux avantages pour les navigateurs, en permettant aux navires, pendant les temps de brouillard, de se signaler les uns aux autres leur présence. Un grand nombre de bâtiments ont maintenant des machines électriques pour l'éclairage à bord : rien n'est donc plus facile que d'organiser des expériences et de savoir si cette nouvelle application du téléphone répond aux espérances de l'inventeur. On aurait ainsi un moyen d'une simplicité extrême pour atténuer les dangers de la navigation et éviter les abordages, notablement sur la côte de Terre-Neuve, dont les brouillards sont légendaires et causent chaque année de nombreux sinistres.

Le treuil électrique de la gare de la Chapelle.

La question du déchargement des marchandises présente un intérêt assez sérieux dans les gares de chemins de fer et notamment dans celles de Paris, où le trafic est très développé et où les frais de manutention sont fort élevés. La compagnie du chemin de fer du Nord, préoccupée de ce fait, s'est livrée à ce sujet à différents essais que nous trouvons exposés par M. Sartiaux dans la *Revue générale des chemins de fer*.

On a cherché à remplacer à la Chapelle par un travail mécanique à dos d'hommes pour le déchargement des sacs de sucre et de grains ; cette modification n'était pas d'ailleurs sans

présenter certaines difficultés, puisqu'il s'agissait de réaliser successivement ou simultanément un travail de translation en avant ou en arrière et de montée ou de descente. Le premier essai, qui fut tenté avec un treuil Mégy, réussit au point de vue mécanique, mais la manœuvre se faisant à bras était trop lente, il fallut y renoncer. Diverses études furent ensuite faites avec un moteur mécanique plus puissant et plus rapide, mais la multiplicité des mouvements à opérer ne permit pas d'obtenir une solution satisfaisante et suffisamment économique.

C'est alors que M. A. Sartiaux pensa à demander la solution à l'électricité, en prenant la force sur une machine Gramme, servant à l'éclairage électrique, et en la transmettant à une distance de 600 mètres à un treuil électrique que la maison Siemens fut chargée d'installer,

Ce treuil se compose d'un chariot à quatre roues, roulant sur les rails de l'ancien treuil Mégy et sur lequel sont montées deux machines électriques Siemens. L'une de ces machines donne le mouvement d'avant ou d'arrière, tandis que l'autre exécute le mouvement d'ascension ou de descente. Elles sont reliées à la machine Gramme génératrice par un câble de 7 millimètres de diamètre.

Les premiers essais ont conduit aux résultats suivants :

Avec 6 hommes, y compris le chauffeur et le surveillant des machines électriques, et en se servant exclusivement de l'appareil, on peut édifier en moyenne une pile de 100 sacs en 18 minutes. Si au contraire, on n'utilise le treuil que pour les mouvements élévatoires en brouettant les sacs à pied d'œuvre, il faut en moyenne 38 minutes pour la même opération. Dans une autre expérience, on a pu, en 35 secondes, prendre sur le wagon, lever, porter au bout du chemin de roulement qui a 35 mètres de longueur et descendre, un poids de 140 kilog., et enfin revenir au même point de départ. Il est à remarquer que les mouvements d'élévation et de translation ne peuvent se faire simultanément en raison des différences de résistances électriques que présentent les dynamos Siemens : c'est un petit inconvénient qui résulte du montage même de l'installation et auquel il est facile de remédier.

Le problème est donc résolu, tant au point de vue de la vi-

tesse qu'au point de vue du prix, en ce sens que les résultats sont au moins égaux à ceux qui étaient obtenus à bras d'hommes avec des ouvriers spéciaux et choisis pour leur force musculaire. Cette solution serait assurément plus avantageuse avec des appareils perfectionnés, semblables à ceux qui sont employés dans les installations du même genre; elle montre cependant tous les avantages que l'on peut retirer des applications de l'électricité à la transmission de la force à faible distance.

Conducteurs composés pour la lumière électrique.

Il est très important dans l'éclairage d'un quartier par l'électricité de maintenir la force électromotrice constante à chaque foyer. La force électromotrice en des points éloignés de la dynamo est moindre qu'à la machine même et la différence dépend de l'énergie dépensée dans les lampes éloignées et dans les principaux conducteurs. Si le nombre des lampes fonctionnant à un certain point éloigné était toujours le même, la force électromotrice à ce point serait toujours un nombre constant de volts au-dessous de celle de la dynamo. Mais le nombre de lampes allumées à un certain point est dans la pratique très variable, et quand les lampes sont installées en dérivation, une diminution du nombre des lampes allumées y donne lieu à une augmentation de force électromotrice; en d'autres termes, l'extinction tendra à égaliser les forces électromotrices au point éloigné et à la dynamo. Si la dynamo n'alimente qu'un seul point éloigné, il devient facile de remédier à ce changement en modifiant la force électromotrice de la dynamo, de manière à tenir constante celle du [poin éloigné. Mais il arrive souvent que la même dynamo sert à alimenter deux ou plnsieurs séries de lampes éloignées et que tous les foyers d'une série fonctionnent, tandis que l'autre série n'est que partiellement utilisée. Si dans la *fig.* 1, par exemple, la même dynamo alimente deux séries de lampes (α) et (β) et si toutes les lampes de la série (α) fonctionnent, tandis que quelques-unes seulement sont allumées en (β), il s'ensuivra nécessairement que si la force électromotrice de la

dynamo est réglée de façon à maintenir les lampes en (α) à leur force électromotrice propre, les foyers en (6) doivent souffrir d'un excès de force électromotrice qui tendra à casser les filaments. D'autre part, si la force électromotrice de la dynamo est réglée pour donner une force électromotrice convenable aux lampes en (β), celle en (α) sera trop faible et les lampes donneront trop peu de lumière à ce point.

On a jusqu'ici vaincu cette difficulté pratique en employant des conducteurs très gros pour amener le courant de la dynamo à des points éloignés afin d'avoir toujours une petite différence entre les forces électromotrices aux deux bouts, ou en d'autres termes, afin de n'avoir qu'une faible perte de force électromotrice dans le conducteur même. Cette disposition est cependant très coûteuse, car les gros conducteurs demandent une grande quantité de cuivre, et elle ne laisse pas d'offrir d'autres inconvénients. M. J.-E.-H. Gordon, l'inventeur de la machine à courants alternatifs qui fonctionne à l'usine de la Telegraph Construction and Maintenance C°, a imaginé une autre disposition représentée par la *fig.* 2. Au lieu d'avoir des conducteurs principaux sous forme d'un seul fil gros, M. Gordon les compose d'un certain nombre de petits conducteurs séparés, placés l'un à côté de l'autre, allant dans la même canalisation souterraine ou sur les mêmes poteaux aériens selon le cas. Les bouts éloignés de ces fils séparés sont reliés ensemble d'une manière permanente, c'est-à-dire au point éloigné où se trouvent les lampes qu'ils sont destinés à alimenter. Mais les autres bouts sont amenés dans la chambre des dynamos à des pièces séparées de contact en laiton *b*, *b* (*fig.* 2). Le pôle de la dynamo est relié d'une manière permanente à une autre pièce de contact *a* qui est la même pour tous les autres fils, et la communication entre cette pièce et les fils s'établit au moyen de chevilles introduites dans les trous entre les pièces de la manière ordinaire.

Cette disposition permet de relier un ou plusieurs des conducteurs à la dynamo et de s'en servir pour transporter le courant, tandis que les autres sont hors du circuit et, par conséquent, inutilisés. En laissant un ou plusieurs fils non reliés, on augmente la résistance du conducteur d'alimenta-

tion et en même temps la différence de la force électromotrice à ses deux extrémités. En maintenant la force électromotrice de la dynamo constante on réduira, par conséquent, la force électromotrice au point éloigné. D'autre part, on peut augmenter la force électromotrice au point éloigné en reliant plusieurs fils à la dynamo au moyen des chevilles. Il est donc évident qu'un employé pourra régler la force électromotrice à un point éloigné simplement en plaçant ou en supprimant des chevilles et en ajoutant ou en diminuant par ce moyen nombre de conducteurs en dérivation. Pour savoir quand il faut supprimer des fils, une paire de conducteurs est ramenée du point éloigné dans la chambre de la dynamo, où se trouve le tableau à chevilles, et mise en communication avec un voltamètre ou un autre appareil indicateur.

M. Gordon croit qu'il sera commode dans la pratique de combiner les fils séparés en un seul conducteur, composé d'autant de fils qu'il y a de volts représentant la différence de force électromotrice entre la dynamo et le point éloigné où toutes les lampes sont allumées. On pourra ainsi graduer la force électromotrice au point éloigné jusqu'à un 1/2 volt à la fois.

Un employé peut ajouter ou supprimer les fils en consultant le voltamètre et en changeant les chevilles selon les indications, ou bien ce travail peut être fait automatiquement par un appareil actionné par le voltamètre.

On peut subdiviser les fils positifs et négatifs de la même manière, ou on peut en laisser l'un intact et subdiviser l'autre. Parfois on trouvera peut-être plus commode d'effectuer le réglage au point éloigné plutôt que dans la station des dynamos. Les dimensions des conducteurs séparés doivent seulement être de nature à les empêcher d'être surchauffés et de perdre trop d'énergie. La disposition permet d'avoir différentes forces électromotrices à différents endroits et, par conséquent, d'employer des lampes à incandescence de différentes résistances. M. Gordon a, en outre, proposé de diminuer l'auto-induction dans les conducteurs en plaçant les fils positifs et négatifs ensemble, dans la même canalisation ou dans le tuyau. (*L'Électricité.*)

BIBLIOGRAPHIE.

Parmi les publications récentes qui intéressent tous ceux qui s'occupent de télégraphie électrique ou des applications de l'électricité, citons :

La deuxième édition du livre de M. Ternaut, *Les Télégraphes* (librairie Hachette), qui, sous une forme attrayante passe en revue et décrit tous les procédés par lesquels on est arrivé à transmettre la pensée à distance : télégraphie optique, acoustique, pneumatique, poste aux pigeons, etc.;

Construction des réseaux aériens en fil de bronze silicieux, de M. Vivarez (Librairie centrale des sciences, Michelet);

L'Almanach-annuaire de l'électro-chimie et de l'électricité pour 1885, publié par le journal des applications électriques et électro-chimiques.

Nécrologie.

M. LARTIGUE.

C'est avec un profond chagrin que nous enregistrons, dans les *Annales*, la mort de M. Lartigue, directeur de la Compagnie générale des téléphones.

« Lartigue, a dit M. Berger, dans une des dernières séances de la Société internationale des électriciens, a appartenu à la catégorie de moins en moins nombreuse des hommes qui sont les esclaves tranquilles de leur conscience, et, sans tapage, mettent leur puissante intelligence au service du progrès industriel et social. A l'âge de cinquante-quatre ans, il vient de succomber victime prématurée de son labeur opiniâtre et de son devoir de père de famille. Sa constitution,

affaiblie par un travail excessif, l'a laissé sans défense contre la maladie contractée peut-être au chevet de deux êtres bien-aimés, sa femme et sa fille.

« Lartigue a été l'un des inventeurs les plus ingénieux, sinon les plus féconds, de notre époque. Il a eu l'intuition des ressources de l'électricité et il a su merveilleusement se servir d'elle pour assurer la sécurité de la marche et de la manœuvre des trains de chemins de fer. Son passage à la Compagnie du Nord a fait époque, et ses successeurs dans le service électrique de cette Compagnie ne cesseront jamais de vanter sa science d'ingénieur et ses vertus d'ami. Il a été pendant près de cinq années le directeur de la Société générale des téléphones. C'est lui qui a créé le réseau de Paris, qui a donné à cette puissante et courageuse Compagnie les moyens pratiques de vaincre toutes les difficultés inhérentes à l'établissement d'un service public dont les habitants de nos grandes villes n'ont pas apprécié immédiatement les bienfaits et la commodité; auquel les administrations de l'État, dominées par les exigences fiscales de la loi et des règlements, n'ont jamais pu prêter qu'un concours d'apparence intéressée. »

M. CALLAUD.

M. Callaud, l'inventeur bien connu de la pile Daniell modifiée par la suppression du vase poreux, qui porte son nom, et est employée par la plupart des administrations télégraphiques, est décédé à Nantes, le 15 novembre 1884.

Le Gérant : DUNOD. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1884 Novembre-Décembre

NOTE

SUR

LES TRANSMISSIONS TÉLÉPHONIQUES.

Suite (*).

Nous nous proposons de revenir, dans cet article, sur quelques points qui n'ont pas été traités dans le précédent, ou qui n'ont pas reçu un développement suffisant.

Cas d'un téléphone Bell transmetteur ou récepteur. — Nous avons vu qu'il se développe dans un téléphone Bell, sous l'action d'un courant ondulatoire, une force contre-électromotrice $\left(-\mathrm{L}\frac{di}{dt}\right)$ due à la self-induction et une force $e{\cdot}m$ due aux vibrations de la plaque, laquelle était représentée par : $mq \sin(t-\theta)$. Cette dernière se compose en réalité de deux autres forces $e.m.$

(*) Voir le numéro de mai juin 1884.

qui jouent chacune un rôle spécial et que nous allons calculer séparément.

Si δ désigne le déplacement d'un point de la plaque vibrante à partir de sa position d'équilibre, les δ des autres points lui étant tous proportionnels, la plaque est soumise à diverses forces provenant de la résistance de l'air, de la communication des vibrations à la masse de l'appareil, des actions moléculaires et de l'attraction magnétique du noyau. Ces deux dernières actions étant de la forme $(a + b\delta)$ et $(a' + b'\delta)$, on peut faire rentrer l'action du noyau dans la force moléculaire en représentant celle-ci par $[a + a' + (b + b')\delta]$. Soit $f = f_0 \sin m(t - t_0)$ l'amplitude des vibrations de l'air qui agissent sur la plaque, le circuit téléphonique étant ouvert, le déplacement δ sera proportionnel à f_0 et sera de la forme $\delta_0 \sin m(t - t_1)$. Il en est de même de $\frac{d\delta}{dt}$. On peut donc écrire :

$$(1) \qquad \left(\frac{d\delta}{dt}\right)_f = kf + k' \frac{df}{dt}.$$

Si le circuit est fermé, l'intensité $i = i_0 \sin m(t - t_2)$ réagit sur la plaque, et à elle seule elle produirait un déplacement proportionnel à i_0, de telle sorte que l'expression de $\frac{d\delta}{dt}$ pourrait se représenter par :

$$(2) \qquad \left(\frac{d\delta}{dt}\right)_i = k_1 i + k'_1 \frac{di}{dt},$$

les coefficients k_1 et k'_1 n'ayant aucun rapport avec k et k', l'action de l'intensité i aux divers points de la plaque n'étant pas répartie comme celle des vibrations f de l'air.

Si les deux actions s'exercent en même temps, la

valeur de $\left(\frac{d\delta}{dt}\right)$ sera la somme des expressions (1) et (2).

D'autre part la force *e.m* induite dans la bobine de l'appareil est due à la variation du courant i et à celle du déplacement δ de la plaque. Elle peut donc se représenter par :

$$-L\frac{di}{dt}-q\frac{d\delta}{dt}.$$

L étant le coefficient de self-induction de la bobine avec noyau tel qu'on peut le mesurer lorsque la plaque reste fixe. La force *e.m* due aux vibrations de la plaque est donc :

$$-q\left(kf+k'\frac{df}{dt}\right)-qk_1i-qk'_1\frac{di}{dt},$$

soit : $\varepsilon-\rho i-\lambda\frac{di}{dt}$, en posant :

$$\varepsilon=-q\left(kf+k'\frac{df}{dt}\right)=q\sqrt{k^2+k'^2m^2}f_0\sin m(t-\theta),$$
$$\rho=qk_1,$$
$$\lambda=qk'_1.$$

Le mouvement de la plaque détermine donc : 1° une force *e.m* égale à ε, qui est la même que si l'intensité i ne réagissait pas sur la plaque ; 2° une augmentation apparente ρ de résistance et λ de self-induction. Les valeurs de $\frac{\varepsilon}{f_0}$, ρ et λ sont trois coefficients qui déterminent la valeur électrique de l'appareil.

La considération de ρ et de λ est très importante au point de vue du rendement de l'appareil. Supposons, par exemple, que la ligne ait une capacité négligeable et, par suite, que l'intensité i soit la même dans le récepteur que dans le transmetteur. Si les vibrations de

l'air agissaient sur le transmetteur, le circuit étant ouvert, le déplacement δ de la plaque serait produit par la force f seule et aurait une valeur δ_1, dont le carré serait proportionnel à l'intensité du son que la plaque ferait entendre si l'on n'entendait pas directement la source sonore. La plaque du récepteur, d'autre part, a, sous l'action du courant i, un déplacement δ_2 dont le carré représente l'intensité du son transmis. Le rapport $\left(\frac{\delta_2}{\delta_1}\right)^2$ représente donc le rendement du système téléphonique, si l'on regarde comme source sonore la plaque vibrante du transmetteur, quoique celle-ci donne déjà une intensité bien inférieure à celle de la source primitive. Mais le rapport des δ est le même évidemment que celui des $\left(\frac{d\delta}{dt}\right)$ donnés par les formules (2) et (1). Il est donc égal au rapport de la force contre-électromotrice développée par les vibrations de la plaque à la force électromotrice proprement dite, soit :

$$\frac{\sqrt{k_1^2 + k_1'^2 m^2}\, i_0}{\sqrt{k^2 + k'^2 m^2}\, f_0} = \frac{\sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2}\, i_0}{q\sqrt{k^2 + k'^2 m^2}\, f_0}.$$

Or r et l désignant la résistance et la self-induction du circuit en dehors de ρ et λ, on a :

$$\varepsilon = q\sqrt{k^2 + k'^2 m^2}\, f_0 \sin m(t - \theta) = (r + 2\rho)i + (l + 2\lambda)\frac{di}{dt},$$

puisque transmetteur et récepteur apportent leurs valeurs de ρ et de λ. On en tire :

$$q\sqrt{k^2 + k'^2 m^2}\, f_0 = \sqrt{(r + 2\rho)^2 + (l + 2\lambda)^2 m^2}\, i_0.$$

Par suite :

$$\frac{\sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2}\, i_0}{q\sqrt{k^2 + k'^2 m^2}\, f_0} = \frac{\sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2}}{\sqrt{(r + 2\rho)^2 + (l + 2\lambda)^2 m^2}}.$$

Le rendement du système téléphonique est donc égal au carré du rapport de la résistance *apparente* $\sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2}$ développée par les vibrations de la plaque réceptrice à la résistance totale *apparente* du circuit : $\sqrt{(r+2\rho)^2 + (l+2\lambda)^2 m^2}$. On augmentera le rendement, comme le montre la formule précédente, en augmentant ρ et λ le plus possible. Mais dans tous les cas ce rendement ne peut dépasser la valeur 1/4 correspondante au cas où $\sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2}$ est infini. Il restera constant si l'on fait varier ρ et λ proportionnellement aux valeurs de r et de l.

Les formules de ρ et λ montrent que, pour augmenter leurs valeurs il faut accroître celles de q, k_1 et k'_1, dont la signification est évidente.

Cas d'un condensateur transmetteur ou récepteur. — Nous avons vu qu'un condensateur embroché sur la ligne téléphonique se comporte comme une bobine d'induction dont le coefficient de self-induction serait $\left(-\frac{1}{Cm^2}\right)$. Toutefois dans le cas où le condensateur entre en vibrations, le mouvement vibratoire se transforme en énergie électrique (condensateur transmetteur) ou absorbe une partie de l'énergie du courant (condensateur récepteur). De là naît une force em que nous allons calculer, en supposant le condensateur *polarisé* par une pile de force emE (système de M. Dunand, etc.). D'ailleurs si cette pile n'existe pas, on n'aura qu'à faire $E = 0$ dans les calculs.

La quantité Q d'électricité accumulée sur le condensateur à l'état de repos est :

$$Q = CE.$$

Pendant le passage du courant ondulatoire, la quan-

tité Q varie de $q = q_0 \sin m(t - t_0)$, la différence E de potentiel des armatures varie de $v = v_0 \sin m(t - t_1)$. En outre, le condensateur vibrant, si δ désigne le déplacement d'un point de l'armature, tous les δ étant proportionnels, la variation de la capacité C sera $(C'\delta)$ en désignant par (C') la dérivée de C par rapport à δ. On a donc en différentiant l'équation $Q = CE$ et regardant q, v, δ comme des infiniment petits :

$$\frac{q}{Q} = \frac{v}{E} + \frac{C'\delta}{C}.$$

Comme on a : $i = \frac{dq}{dt}$, il en résulte : $q = -\frac{1}{m^2}\frac{di}{dt}$; d'où :

$$(3) \qquad v = -\frac{1}{Cm^2}\frac{di}{dt} - \frac{C'}{C}E\delta.$$

Que l'on supprime le condensateur en établissant à sa place une chute brusque de potentiel égale à $(E + v)$, rien ne sera changé dans le régime du circuit. Donc la présence du condensateur équivaut à une force électromotrice égale à $(-v)$, en négligeant la force constante $-E$, qui annule celle de la pile. La valeur de v contient δ, que nous allons calculer.

Le condensateur vibrant sous l'action seule des vibrations de l'air, dont l'amplitude est f, l'expression de δ sera, comme dans le cas du téléphone Bell (voir plus haut), de la forme :

$$(4) \qquad \delta_f = kf + k'\frac{df}{dt}.$$

Supposons au contraire que l'appareil vibre sous l'action seule du courant i. La force d'attraction entre les armatures à l'état de repos est proportionnelle au carré Q^2 de la charge du condensateur. Donc cette

force varie comme la différentielle $(2Qq)$; et comme ce sont les variations de cette force qui produisent les vibrations, δ sera proportionnel : d'une part à $Q=CE$, d'autre part à q_0 ou, ce qui revient au même, à i_0. Donc δ sera de la forme :

$$\delta_i = -CE\left(k_1 i + k'_1 \frac{di}{dt}\right). \tag{5}$$

si les deux actions se produisent en même temps, δ sera la somme des expressions (4) et (5), et par suite la formule (3) donnera :

$$-v = \varepsilon - \rho E^2 i - \left(\lambda E^2 - \frac{1}{Cm^2}\frac{di}{dt}\right),$$

en posant :

$$\varepsilon = \frac{C'}{C} E\left(kf + k'\frac{df}{dt}\right) = \frac{C'}{C}\sqrt{k^2 + k'^2 m^2} E f_0 \sin m(t-\theta),$$
$$\rho = C'k_1,$$
$$\lambda = C'k'_1,$$

On retrouve donc d'abord ce résultat que, le condensateur ne vibrant pas agit comme une bobine de coefficient de self-induction égal à $\left(-\frac{1}{Cm^2}\right)$. En outre on voit que les vibrations de l'appareil donnent lieu : 1° à une force *emε*, qui est proportionnelle non seulement à l'amplitude des vibrations de l'air incidentes, mais encore à la force polarisante E; 2° à des augmentations ρE^2 de résistance apparente du circuit et λE^2 de self-induction apparente. Les valeurs des coefficients $\frac{\varepsilon}{Ef_0}$, ρ et λ sont le strois constantes définissant le condensateur employé.

Si le condensateur sert de récepteur, on à intérêt à augmenter le plus possible l'amplitude du déplace-

ment δ, dont le carré sera proportionnel à l'intensité du son transmis. Or cette amplitude sera, d'après la relation (5), que l'on doit employer puisque le courant i agit seul dans le récepteur.

$$\delta_0 = \mathrm{CE}\sqrt{k_1^2 + k_1'^2 m^2}\, i_0.$$

soit :

$$\delta_0 = \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{C}'}\,\mathrm{E}\sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2}\, i_0.$$

Mais si la force *em* qui agit sur le circuit est : $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin m(t - t_0)$, la résistance et la self-induction du circuit, non compris celles qui sont dues aux vibrations du récepteur, étant r et l, on aura :

$$i_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{(r + \rho \mathrm{E}^2)^2 + (l + \lambda \mathrm{E}^2)^2 m^2}},$$

d'où :

$$\delta_0 = \frac{\mathrm{C}\varepsilon_0}{\mathrm{C}'}\,\frac{\mathrm{E}\sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2}}{\sqrt{(r + \rho \mathrm{E}^2)^2 + (l + \lambda \mathrm{E}^2)^2 m^2}}.$$

On voit que l'intensité du son reçu sera d'autant plus grande que ρ et λ seront plus grands eux-mêmes. De là un moyen d'accroître cette intensité *si le condensateur ne servait que comme récepteur.* On voit également que l'on aura avantage à faire croître la force *em* polarisante E, mais jusqu'à un certain point seulement, car on trouverait $\delta = 0$ pour $\mathrm{E} = \infty$ comme pour $\mathrm{E} = 0$ Si l'on cherche en effet le maximum de δ_0 lorsqu'on fait varier E, on trouve qu'il correspond à une valeur de E égale à

$$\mathrm{E}_1 = \sqrt[4]{\frac{r^2 + l^2 m^2}{\rho^2 + \lambda^2 m^2}}.$$

Cette expression est susceptible d'une interprétation très simple. On peut écrire en effet :

$$\sqrt{(\rho \mathrm{E}_1^2)^2 + (\lambda \mathrm{E}_1^2)^2 m^2} = \sqrt{r^2 + l^2 m^2}.$$

Par conséquent la force *em* polarisante E_1 qui donne l'effet le plus avantageux est celle qui rend la résistante apparente : $\sqrt{(\rho E_1^2)^2 + (\lambda E_1^2)^2 m^2}$ due aux vibrations du condensateur égale à la résistance apparente *extérieure :* $\sqrt{r^2 + l^2 m^2}$. Cette limite E_1 est d'autant plus faible que $\sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2}$ est plus grand.

Dans le cas où le condensateur sert de transmetteur, on a intérêt à disposer de ce condensateur et de la pile E de manière à rendre maximum l'intensité du courant. Or cette intensité sera :

$$i = \frac{\varepsilon}{\sqrt{(r + \rho E^2)^2 + (l + \lambda E^2)^2 m^2}},$$

la force électromotrice ε étant égale à :

$$\frac{C'}{C} \sqrt{k^2 + k'^2 m^2} E f_0 \sin m(t - \theta).$$

Dans cette valeur de i, E entre au numérateur et au dénominateur absolument comme précédemment dans la valeur de δ_0. Donc la force *em* E_1 la plus avantageuse pour la réception l'est encore pour la transmission. Mais ici ρ et λ ne figurent plus qu'au dénominateur et représentent par conséquent, à l'inverse du cas précédent, des coefficients nuisibles, que l'on aurait intérêt à diminuer si le condensateur ne devait servir que de transmetteur.

Enfin on peut se proposer de chercher quel est le meilleur arrangement lorsque transmetteur et récepteur sont des condensateurs, dans un même circuit par exemple, sans bobine d'induction. Alors r et l désignant la résistance et la self-induction du circuit indépendamment des vibrations des deux appareils, l'intensité i sera représentée par :

$$i = \frac{C'}{C} \sqrt{k^2 + k'^2 m^2} f_0 \frac{E \sin m(t - \theta)}{\sqrt{(r + 2\rho E^2)^2 + (l + 2\lambda E^2)^2 m^2}},$$

et l'amplitude δ_0 des vibrations du récepteur par l'expression déjà calculée plus haut :

$$\delta_0 = \frac{C}{C'} E \sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2} i_0$$

$$= \sqrt{k^2 + k'^2 m^2} f_0 \frac{E^2 \sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2}}{\sqrt{(r + 2\rho E^2)^2 + (l + 2\lambda E^2)^2 m^2}}.$$

On voit que, dans ce cas, on a intérêt à avoir la plus grande valeur possible pour la résistance apparente $\left(E^2 \sqrt{\rho^2 + \lambda^2 m^2}\right)$ due aux vibrations de chaque appareil. A cet effet, il sera avantageux d'avoir pour ρ et λ les plus grandes valeurs possibles ; mais on pourra, dans tous les cas, augmenter la force *em* polarisante E.

L'expression précédente de δ_0 peut écrire

$$\delta_0 = \alpha \sqrt{k^2 + k'^2 m^2} f_0,$$

α ne pouvant dépasser $\frac{1}{2}$, valeur que ce coefficient atteint pour $E = \infty$, c'est-à-dire pour des valeurs suffisamment grandes de E. Or, l'équation (4) montre que $\left(\sqrt{k^2 + k'^2 m^2} f_0\right)$ représente précisément l'amplitude des vibrations du condensateur transmetteur sous l'action de la force f due aux vibrations incidentes de l'air. Donc la transmission électrique a pour effet de réduire cette amplitude dans un rapport égal à α et, par suite, l'intensité du son reçu dans le rapport α^2, qui ne peut dépasser $\frac{1}{4}$, comme pour le téléphone Bell.

Il y a donc la plus grande analogie entre le cas des téléphones Bell et celui des condensateurs. Dans l'un et l'autre cas, d'ailleurs, quoique le rendement puisse être assez élevé, toute l'énergie dépensée est empruntée

à la source sonore et non à une pile quelconque. Même dans le cas du condensateur polarisé par la pile E, celle-ci, quoique augmentant l'intensité du courant, ne fournit pas d'énergie, puisqu'elle est traversée, pendant une période $\left(\frac{2\pi}{m}\right)$, par des quantités d'électricité égales et de signe contraire.

Cas du thermophone récepteur. — Dans le thermophone de M. Preece, un fil métallique tendu entre une borne et la plaque du récepteur, au centre de laquelle il est fixé, se trouve intercalé dans le circuit téléphonique. Le passage du courant échauffe ce fil, y produit un allongement qui varie périodiquement avec le courant lui-même, et finalement, par réaction, détermine le mouvement vibratoire de la plaque.

Soient ω la section du fil, E son coefficient d'élasticité longitudinale, α son coefficient de dilatation linéaire, T sa température moyenne et $\theta = \theta_0 \sin m(t - t_0)$ la variation périodique de cette température.

La variation relative de longueur du fil, sous l'action de l'accroissement θ de température, serait $\alpha\theta$ à l'état de repos. Donc l'effet de θ est le même que celui d'une force de traction $E\omega\alpha\theta$ appliquée au fil à sa jonction avec la plaque. Le fil vibrera donc longitudinalement et la plaque transversalement sous l'action de cette force $E\omega\alpha\theta$. Si l'on connaît l'amplitude δ_0 des vibrations qui correspondraient à une force $f_0 \sin mt$, par exemple à la pression que détermineraient sur la plaque les ondes émanant d'une source sonore, on aura, par une simple proportion, l'amplitude δ correspondant à la force $E\omega\alpha\theta$:

$$\delta = \frac{\delta_0}{f_0} E\omega\alpha\theta_0 \sin m(t - t_1).$$

Il reste à exprimer dans cette formule θ en fonction de la variation $i = i_0 \sin mt$ du courant, l'appareil étant *polarisé* par un courant continu d'intensité I. Si R désigne la résistance du fil, l'énergie calorifique développée par le courant $(I + i)$ pendant le temps dt est $R(I + i)^2 dt$. Elle se divise : 1° en une quantité de chaleur $Cd\theta$ qui élève de $d\theta$ la température du fil de capacité calorifique C ; 2° en une quantité de chaleur rayonnée qui dépend de la température $(T + \theta)$ et que nous représenterons par $f(T + \theta)dt$. On a donc :

$$AR(I + i)^2 dt = f(T + \theta)dt + Cd\theta.$$

A étant l'équivalent calorifique du travail. La température moyenne du fil ne s'élevant pas, la chaleur moyenne fournie par le courant est rayonnée complètement, c'est-à-dire que :

$$ARI^2 = f(T).$$

Il reste donc, en négligeant les termes en i^2 et θ^2 et remplaçant $f'(T)$ par h :

$$A2RIi = h\theta + C\frac{d\theta}{dt},$$

d'où :

$$\theta_0 = \frac{A2RIi_0}{\sqrt{h^2 + C^2m^2}},$$

et par suite :

$$\delta = \frac{\delta_0}{f_0} A \frac{2RIi_0E\omega\alpha}{\sqrt{h^2 + C^2m^2}} \sin m(t - t_1).$$

On voit donc que, toutes choses égales d'ailleurs, l'amplitude des vibrations de la plaque réceptrice est proportionnelle : 1° au coefficient d'élasticité du fil, à son coefficient de dilatation linéaire et à sa résistance électrique spécifique ; 2° non seulement à la variation i_0

du courant, mais encore à sa valeur moyenne I (De là nécessité de *polariser* l'appareil pour obtenir le maximum d'effet); 3° inversement proportionnelle à la quantité $\sqrt{h^2 + C^2 m^2}$, qui peut être calculée comme les précédentes si l'on connait la capacité calorifique C du fil et la variation h de son rayonnement, à la température T, pour un degré d'élévation.

Quant à la force f_0 produite sur la plaque par les vibrations provenant d'une source sonore connue, elle est également susceptible de calcul. Le rapport $\left(\frac{\delta}{\delta_0}\right)$ sera dès lors entièrement calculable, et, par suite, aussi le rapport $\left(\frac{\delta}{\delta_0}\right)^2$ de l'intensité du son que la plaque émettra sous l'actionn de la force $\frac{2RIi_0 E\omega\alpha}{\sqrt{h^2 + C^2 m^2}}$ à l'intensité du son qu'elle ferait entendre sous l'action de f_0 si l'on n'entendait pas directement la source sonore.

Il est à remarquer que le coefficient $\frac{\delta_0}{f_0}$, qui dépend des propriétés de l'ensemble de la plaque et du fil vibrants, varie avec la longueur l de celui-ci et s'annule pour certaines valeurs de cette longueur. En effet, les vibrations se propagent le long du fil avec une vitesse égale à $\sqrt{\frac{E}{\varpi}} = a$, ϖ désignant la densité du fil. Celui-ci se partagera donc, à partir de son extrémité fixe, en concamérations de longueur $\frac{\pi a}{m}$; et si la longueur totale est un multiple de $\frac{\pi a}{m}$, soit : $l = N\frac{\pi a}{m}$, l'extrémité du fil fixée à la plaque restera également au repos, ainsi que la plaque elle-même. Un calcul

assez simple ou plutôt l'expérience indiqueront la longueur la plus favorable à donner au fil.

Les raisonnements ci-dessus s'appliquent au cas où le fil vibre effectivement, suivant sa longueur, sans fléchir sensiblement sous l'action de son poids. Cette condition est réalisée en pratique, car on donne toujours, à cet effet, au fil une tension suffisante. Ajoutons que, tant que la flexion ni la rupture ne sont à craindre, on doit donner au fil la plus faible section possible, l'expression de δ croissant lorsque ω diminue.

Cas du microphone récepteur. — On peut dire que le microphone récepteur est une sorte de thermophone dans lequel le fil métallique est remplacé par un corps peu conducteur, du charbon par exemple, simplement appuyé contre la plaque du récepteur et également traversé par le courant téléphonique. L'action calorifique s'exerce ici principalement au contact, qui présente une résistance assez notable. Une formule semblable à celle du cas précédent, mais beaucoup plus compliquée à cause de la forme non cylindrique du charbon et de la variation de sa résistance spécifique, montrerait que l'intensité du son reçu croît avec la résistance spécifique et la dilatation du charbon, et qu'elle décroît au contraire lorsque la capacité calorifique et le rayonnement augmentent. Nous n'insisterons pas davantage sur le fonctionnement de ce récepteur, d'autant plus qu'il peut y entrer en jeu d'autres causes que l'action thermique.

A propos du thermophone et du microphone récepteurs, nous remarquerons combien leur rendement est défectueux en comparaison de l'appareil de Bell et du condensateur. Dans ceux-ci la seule énergie dépensée est celle de la source sonore et le rendement, qui ne

peut dépasser $\frac{1}{4}$ comme nous l'avons vu, peut néanmoins atteindre une valeur assez notable. Dans les deux derniers appareils, au contraire, on a un courant continu, par suite une dépense d'énergie dans la pile; cependant on ne récupère qu'une somme d'énergie utile qui est du second ordre par rapport à l'amplitude très petite des vibrations. Il est vrai que cette faible quantité d'énergie pourrait, on le conçoit, être supérieure à l'énergie de la source primitive, laquelle est également du second ordre.

Cas de bobines d'induction en série. — Le renforcement du courant téléphonique sur les longues lignes par l'emploi de la bobine d'induction est bien connu. On peut se demander s'il n'y aurait pas avantage dans certains cas à employer plusieurs bobines disposées en séries en différents points des lignes. Nous ne chercherons pas ici la solution de cette question, de même que nous n'avons pas discuté les divers cas où tel appareil est préférable à tel autre. Nous allons seulement montrer comment on peut calculer de proche en proche ce qui se passe dans un circuit induit du n^e ordre.

Soient : (r_1, l_1), (r_2, l_2),..., (r_{n+1}, l_{n+1}) la résistance et la self-induction que présentent le circuit inducteur les circuits du 1er ordre, du 2e, ..., du n^e; M_1, M_2, ..., M_n les coefficients d'induction mutuelle du circuit inducteur et du premier induit, du premier et du deuxième induits, etc. Soit enfin $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin mt$, la force *em* développée dans l'inducteur.

Nous avons vu dans l'article précédent (mai-juin) que tout se passe dans le premier circuit induit comme si celui-ci était soumis à une force *em*

$$\frac{M_1 m}{\sqrt{r_1^2 + l_1^2 m^2}} \varepsilon_0 \sin m(t - \theta_1) = k_1 \varepsilon_0 \sin m(t - \theta_1),$$

et si en même temps la résistance et la self-induction de ce circuit étaient accrues respectivement des valeurs $(+ k_1^2 r_1)$ et $(- k_1^2 l_1)$. On peut donc supposer le circuit inducteur supprimé, à la condition d'attribuer au premier induit.

une force *em*,	$\varepsilon_1 = k_1 \varepsilon,$
une résistance,	$R_1 = r_2 + k_1^2 r_1,$
une self-induction,	$L_1 = l_2 - k_1^2 l_1.$

On pourra de même, au point de vue des effets produits dans les circuits suivants, supposer le premier induit supprimé, à la condition d'attribuer au second :

une force *em*,	$\varepsilon_2 = k_2 \varepsilon = k_1 k_2 \varepsilon,$
une résistance,	$R_2 = r_3 + k_2^2 R_1,$
une self-induction,	$L_2 = l_3 - k_2^2 L_1,$

en posant

$$k_2 = \frac{M_2 m}{\sqrt{R^2 + L_1^2 m^2}}.$$

En continuant ainsi de proche en proche, on voit que l'on pourra supposer l'inducteur et les $(n - 1)$ premiers induits supprimés, à la condition d'attribuer au n^e :

une force *em*,	$\varepsilon_n = k_n \varepsilon_{n-1} = k_1 k_2 \ldots k_n \varepsilon,$
une résistance,	$R_n = r_{n+1} + k_n^2 R_{n-1},$
une self-induction,	$L_n = l_{n+1} - k_n^2 L_{n-1},$

en posant

$$k_n = \frac{M_n m}{\sqrt{R_{n-1}^2 + L_{n-1}^2 m^2}}.$$

Tout se réduit donc à un calcul, de proche en proche, des valeurs de k_1, R_1, L_1, k_2, R_2, L_2, ..., k_n, R_n, L_n. On pourra supposer la force ε directement appliquée

au n^e circuit induit, moyennant multiplication de cette force par le facteur $(k_1 k_2 \ldots k_n)$ et introduction de résistance et de self-induction apparentes $(+ k_n^2 R_{n-1})$ et $(- k_n^2 L_{n-1})$.

S'il y a d'autres circuits induits après le $n^{ème}$, on pourra également les supprimer l'un après l'autre, de proche en proche, en commençant par le dernier; de telle sorte que finalement tout se passera dans un seul circuit, le n^e induit, où se trouvera l'appareil téléphonique récepteur.

La discussion des formules précédentes permettra de calculer dans quel cas il y a intérêt à employer une nouvelle bobine d'induction et quelle est la disposition la plus favorable à adopter pour cette bobine. La capacité de la ligne, lorsqu'on devra en tenir compte, viendra compliquer beaucoup les calculs.

Modification du timbre d'un son transmis téléphoniquement. — On peut maintenant se rendre compte des modifications qu'un son complexe subira, non seulement dans son intensité, mais encore dans son timbre, par le fait des divers appareils et par celui de la ligne elle-même. Nous avons vu dans le précédent article combien la capacité de celle-ci peut modifier profondément le timbre. En se reportant aux différents cas traités ci-dessus, on voit que dans chacun d'eux l'amplitude δ des vibrations du récepteur est proportionnelle à celle des vibrations de la source sonore. Soit $\delta_1 \sin mt$ celle-ci, on a

$$\delta = k_1 \delta_1 \sin m(t - \theta_1),$$

k_1 étant un coefficient dépendant de m et par suite de la hauteur du son. Si l'on a un son composé d'un son simple de hauteur $\frac{m}{2\pi}$ et de ses harmoniques, la va-

leur de δ sera, à cause de la forme linéaire des formules, la somme des valeurs correspondantes à chaque son simple, soit :

$$\delta = k_1 \delta_1 \sin m(t - \theta_1) + k_2 \delta_2 \sin 2m(t - \theta_2) + \ldots$$

Les coefficients d'affaiblissement k_1, k_2, k_3, ..., pourront être très inégaux ; ce sont les valeurs d'une même fonction de m lorsqu'on y remplace m par $2m$, $3m$, ... Le timbre sera donc modifié en conséquence. Dans tous les cas l'intensité du son au récepteur sera proportionnelle à

$$\frac{1}{T} \int_0^T \delta^2 dt = \frac{1}{2} (k_1^2 \delta_1^2 + k_2^2 \delta_2^2 + k_3^2 \delta_3^2 + \ldots).$$

Si l'oreille était assez délicate pour saisir les plus faibles différences de timbre, on pourrait remarquer toujours la modification apportée au son par les appareils même les plus parfaits. Non seulement il n'en est pas ainsi, mais l'habitude que l'on a d'un récepteur téléphonique convenablement construit finit par faire juger qu'il reproduit très bien le timbre de la voix. Toutefois certains appareils altèrent manifestement la voix ; on dit qu'ils ont un timbre propre. Cette altération est plus grande pour certaines hauteurs de son que pour d'autres. La discussion des diverses formules que nous avons obtenues permettrait de se rendre compte des meilleures dispositions à adopter pour que le timbre d'un son de hauteur moyenne déterminée soit altéré le moins possible, c'est-à-dire pour que la variation de m donne lieu à des variations aussi faibles que possible pour les coefficients k_1, k_2, ...

Cas où les vibrations des appareils ont une amplitude notable. — Nous avons, dans tous nos calculs, supposé les variations de résistance (microphone) ou

d'intensité, ainsi que les amplitudes des vibrations, très petites, et nous leur avons appliqué les principes du calcul infinitésimal en négligeant les quantités du second ordre. Cette hypothèse sera d'autant moins fondée et les calculs seront d'autant moins exacts que l'amplitude des vibrations sera plus considérable. On pourrait donc être tenté d'attribuer à ces calculs une application très restreinte. Mais il est facile de se rendre compte que la transmission téléphonique sera d'autant plus défectueuse, à cause de l'altération du timbre, que l'on aura de plus grandes intensités. Prenons, en effet, comme exemple, le cas du microphone. Ce que nous allons dire s'appliquerait aux autres cas.

Si la résistance du circuit primaire est $(R + \rho \sin mt)$, la force *em* étant E, en supprimant, pour simplifier, la bobine d'induction, on aura

$$E - (R + \rho \sin mt) i = 0.$$

La force *em* qui doit donner lieu au courant téléphonique est $\rho i \sin mt$, soit :

$$E \frac{\rho \sin mt}{R + \rho \sin mt} = E \frac{\rho}{R} \left(\sin mt - \frac{\rho}{R} \sin^2 mt + \ldots \right).$$

Si ρ est assez petit, $\frac{\rho}{R}$ est négligeable devant l'unité et la force *em* en question aura très approximativement la valeur que nous avons donnée dans le précédent article, savoir : $E \frac{\rho}{R} \sin mt$. Mais s'il n'en est pas ainsi, nous devons tenir compte des termes suivants de la série et en particulier du second, lequel peut s'écrire

$$- E \frac{\rho^2}{R^2} \sin^2 mt = E \frac{\rho^2}{2 R^2} (\cos 2mt - 1).$$

La partie constante $\left(-E\frac{\rho^2}{2R^2}\right)$ n'est pas à considérer; l'autre qui contient le facteur $\cos 2mt$ est une fonction de période $\frac{2\pi}{2m}$, qui a pour amplitude $E\frac{\rho^2}{2R^2}$, tandis que le premier terme de la série, qui a une période double, a pour amplitude $E\frac{\rho}{R}$. Le rapport de ces amplitudes $\frac{\rho}{2R}$ n'étant plus négligeable, on voit que le microphone présentera un timbre particulier, puisque, pour un son simple émis devant lui, il répondra en donnant les harmoniques $\left(\text{de périodes } \frac{2\pi}{2m}, \frac{2\pi}{3m}, \dots\right)$, chacun avec une intensité notable.

Si l'on tient compte de la présence de la bobine d'induction, elle a pour effet de produire une augmentation apparente de résistance. Les calculs seraient plus compliqués; mais le résultat général serait le même. On voit que si les termes du second ordre, que nous avons négligés dans tous nos calculs, ne sont pas négligeables, par là même l'appareil modifie le timbre des sons émis d'autant plus que les vibrations sont plus puissantes.

On voit ainsi que l'on ne peut chercher à renforcer indéfiniment les sons transmis, au moins par les procédés généralement employés, sans en diminuer en même temps la netteté dans un rapport analogue. C'est là, en quelque sorte, une loi à laquelle il paraît difficile de se soustraire.

VASCHY.

RECHERCHES

SUR LA NEUTRALITÉ MAGNÉTIQUE

(D'APRÈS UN MÉMOIRE DE M. HUGHES)

Toutes les variétés de fer et d'acier présentent une capacité magnétique (*) considérable aussi longtemps que le métal est soumis à une influence inductrice : celle-ci vient-elle à disparaître, on constate une diminution notable de la capacité, diminution variable avec les échantillons; le magnétisme rémanent est le résultat d'une neutralité partielle et les aimants soi-disant permanents sont, pour la plupart, à moitié revenus à l'état neutre. L'étude de la neutralité peut donc jeter quelque lumière sur la question de la polarité.

Lions ensemble, avec un fil de cuivre, vingt lames de fer feuillard (**) empilées l'une sur l'autre de manière à former une seule et même barre; portons-la sur les pôles d'un fort aimant, une des lames extrêmes étant en contact par son plat; enlevons enfin la barre après aimantation. On peut en évaluer le magnétisme rémanent avec la balance magnétique : soit 18 le nombre

(*) M. Hughes entend ici par capacité magnétique la force avec laquelle agit le corps sur un aimant déterminé; il en apprécie la grandeur à l'aide de la balance magnétique. — Pour celle-ci, voir *Annales télégraphiques*, 1884, p. 56, et *Bulletin de la Société internationale des électriciens*, juin 1884, p. 238.

(**) Les lames employées dans cette expérience par M. Hughes étaient épaisses de 1/2 millimètre, longues de 20 centimètres et larges de 3.

Les lames avaient toutes même capacité magnétique en présence d'une force inductrice identique et même magnétisme rémanent après disparition de celle-ci.

qui le représente. En séparant alors les lames, nous les trouverons, aux extrémités correspondantes, douées les unes de polarité nord, les autres de polarité sud, et les nombres lus à la balance magnétique pour l'une et pour l'autre polarité donneront, en s'ajoutant, deux sommes égales, à une différence de 18 près. Ainsi, supposons qu'on ait pour tout le barreau 18 de magnétisme nord rémanent ; la première et la seconde lame donnant à elles deux 150 de magnétisme nord, le total des déviations obtenues avec chacune des autres lames sera 132 ou 150 — 18.

Examinons de plus près le phénomène. Et d'abord que se passe-t-il pendant que le barreau est soumis à l'action de l'aimant ?

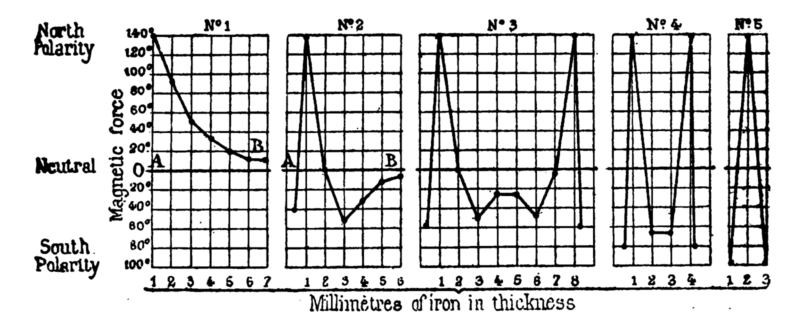
Si nous enlevons successivement les lames pour les porter dans la balance magnétique, nous trouverons certains nombres ; nous en déduirons ceux qui correspondraient aux mesures prises lorsque les lames font partie du barreau puisqu'on a eu soin de déterminer leur coefficient commun de rémanence, c'est-à-dire le rapport entre le magnétisme rémanent et le magnétisme primitif; dans une des séries d'expérience de M. Hughes, ce coefficient était égal à un quart environ.

On peut, en prenant pour abscisses les distances à l'aimant et pour ordonnées les nombres indiqués à la balance magnétique, représenter graphiquement la loi de pénétration (*) : les nombres correspondant à la

(*) Les figures sont empruntées au Mémoire original de M. Hughes. Voici la traduction des légendes :

Millimetres of iron in thickness.	Épaisseur du fer en millimètres.
Magnetic force	Force magnétique.
South polarity	Polarité sud.
Neutral	Région neutre.
North polarity	Polarité nord.

polarité nord seront portés au-dessus et ceux correspondant à la polarité sud au-dessous de l'axe des abscisses ou ligne O. La courbe (*fig.* 1) n'indique jamais de renversement de polarité; celle-ci diminue régulièrement et, pour de faibles forces magnétisantes, M. Hughes énonce la loi suivante : La pénétration est en raison inverse du carré de la distance à la source inductrice.



L'emploi des lames superposées permet à M. Hughes d'opérer pendant que le barreau est soumis à l'action magnétique, ce qui est impossible avec le procédé chimique de M. Jamin, et le met, d'autre part, à l'abri des erreurs expérimentales que peut entraîner le moindre frottement lorsqu'on fait usage de tubes concentriques. Néanmoins, quand les tubes sont formés de deux demi-cylindres, il est plus facile de les séparer les uns des autres sans frottement et l'on peut à la rigueur s'en servir pour contrôler les expériences précédentes.

Reconstituons maintenant le barreau et plaçons-le de nouveau sur l'aimant, puis faisons disparaître la source magnétique. Le barreau examiné en bloc ne présente plus qu'un magnétisme apparent très faible : on peut même l'amener à peu près à l'état neutre en le

frappant de quelques légers coups d'un maillet de bois ou lui faisant subir quelques vibrations. Mais si l'on vient à séparer les lames, on trouve, en partant de la face aimantée directement, la distribution suivante (*fig.* 2) : une couche mince dont la polarité a été renversée, est devenue sud, par exemple, puis une couche peu épaisse, douée d'une polarité nord intense, et enfin des couches de polarité sud croissante puis décroissant graduellement presque jusqu'à zéro.

Quand les deux côtés d'un barreau suffisamment épais (*) sont polarisés simultanément, on obtient une courbe (*fig.* 3) qu'on peut considérer comme formée de deux courbes analogues à la précédente, mais symétriques par rapport au centre du barreau où elles se rejoignent. Si l'épaisseur diminue (5 millimètres), la partie médiane de la courbe ci-dessus disparaît et l'aspect général est celui d'un M (*fig.* 4). Enfin une épaisseur de 3 millimètres donne une sorte de V renversé (*fig.* 5).

Les faits précédents s'expliquent mal dans l'hypothèse de Coulomb ; ils montrent la neutralité non pas existant dans la molécule mais résultant d'un certain agencement d'une série de molécules. Cette dernière manière de voir, outre qu'elle paraît s'accorder avec les expériences que nous venons d'indiquer et des expériences antérieures dues soit à M. Hughes, soit à d'autres physiciens (**), permet en particulier d'expliquer la disparition des propriétés magnétiques du fer porté au rouge jaune (1050° C.) et leur réapparition graduelle à mesure qu'il revient au rouge (700 C.). Si, en effet, la chaleur accroît les vibrations molécu-

(*) 10 millimètres environ dans le cas cité par M. Hughes.
(**) Voir Daguin, *Traité élémentaire de physique*, n° 2136.

laires, si elle rend les molécules assez libres pour que toute structure antérieure soit ébranlée et finisse par disparaître, la polarité apparente supposée due à un arrangement moléculaire spécial disparaîtra du même coup. Pendant le refroidissement, les molécules obéissent à leurs attractions mutuelles et se groupent, par exemple, deux à deux, formant pour ainsi dire une molécule double et un circuit magnétique fermé. Si une influence directrice, tel qu'un courant électrique, survient, les molécules lui obéissent.

Les vibrations mécaniques ont même effet que les vibrations calorifiques : de légers coups de maillet donnent, on l'a vu, une certaine liberté aux molécules ; c'est le cas correspondant à celui de la chaleur rouge : des coups violents appliqués à l'extrémité du barreau impriment aux molécules de fortes oscillations et la neutralité obtenue ressemble à celle que produit la chaleur rouge jaune.

A l'appui de l'opinion que chaque molécule forme un aimant permanent, M. Hughes fait encore remarquer l'influence considérable qu'a l'épaisseur d'un barreau sur son magnétisme rémanent. Si la neutralité se produisait dans la molécule même, cette influence s'expliquerait difficilement, tandis que, dans l'hypothèse des molécules-aimants, il est vraisemblable que la neutralité proviendra la plupart du temps d'un arrangement spécial des molécules et sera imparfaite si le nombre en est trop faible. M. Hughes a placé dans la bobine de la balance magnétique des barres de fer ayant même longueur et même largeur, mais d'épaisseurs différentes ; pour chaque accroissement de l'épaisseur il a constaté une augmentation marquée dans la capacité magnétique du barreau pendant que le courant passait

dans la bobine, puis, quand il cessait, un retour plus complet à l'état neutre.

Le tableau suivant renferme les résultats de quelques expériences :

	CAPACITÉ magnétique sous l'influence de la bobine. — 1 élément Daniell.	MAGNÉTISME rémanent après cessation du courant électrique.
1. Tube de fer doux mince, 2 centimètres de diamètre, 20 centimètres de long, 1/10 de millimètre d'épaisseur	218°	106°
2. Tige pleine de fer doux, mêmes dimensions . . .	960	29
3. Acier fondu trempé, id. id. . . .	458	18
4. Faisceau de fil de fer doux de 1 millimètre de diamètre, mêmes dimensions	1.268	142
5. Tube de verre rempli de limaille de fer, mêmes dimensions.	160	15
6. Fil de 1^{mm} de diamètre en fer doux de Suède . . .	455	105
7. Id. id. en acier fondu trempé sec.	49	16
8. Tube de laiton recouvert par la galvanoplastie d'une couche de fer extrêmement mince. } 3^{ctm} de diamètre. 20 de long. . .	0,95	0,94
9. Id. couche de fer de $1/10^{mm}$	231	109
10. Id. id. de 1^{mm}	401	72
11. Id. id. de 1^{ctm} 4^{ctm} de diamètre.	1.075	35

Le tableau ci-dessus est relatif à des noyaux ronds; mais les expériences faites sur des barreaux plats ont donné des résultats analogues.

Le magnétisme rémanent du tube mince (n° 1) représente 50 p. 100 de la force polaire antérieure et la tige massive (n° 2), de mêmes dimensions, n'en a conservé que 3 p. 100. De plus, sous l'influence du courant, elle acquiert une force polaire supérieure au quadruple de celle du tube mince.

La force coercitive de l'acier peut, grâce à l'épaisseur, tomber notablement au-dessous de celle du fer doux mince. Une tige d'acier trempé (n° 3) a, soumise à l'influence polarisante, une capacité magnétique double de celle du fer doux mince et son magnétisme rémanent représente seulement 4 p. 100 du magnétisme antérieur. Il y a donc intérêt à former ses aimants permanents avec des lames, comme le fait M. Jamin; pour donner au barreau d'acier un magnétisme permanent énergique, il aurait fallu employer une force inductrice cinquante fois au moins supérieure à la force nécessaire pour une lame mince.

Les exemples 8, 9, 10 et 11 sont remarquables. Une couche de fer (n° 8) assez mince pour être transparente fut saturée par l'action d'un courant faible; à partir de ce moment, l'accroissement de la pile n'eut plus aucun effet : la déviation resta de 0°,95. La suppression du courant n'imprima à l'aiguille aucun mouvement perceptible : des vibrations et des coups de marteau, qui auraient ramené à l'état neutre un barreau massif, n'eurent aucun effet. M. Hughes a donné le nombre 0°,94, uniquement pour tenir compte des erreurs d'expérience. Dans l'exemple n° 9, où le laiton est recouvert d'une couche de fer de 1/10e de millimètre, on constate déjà un retour plus complet à l'état neutre; il y a 50 p. 100 de magnétisme rémanent. Quand on arrive à un millimètre d'épaisseur (n° 10), on n'a plus que 20 p. 100; enfin, avec 1 centimètre, on atteint 3 p. 100; le magnétisme rémanent est même notablement inférieur à celui que présente la couche de 1/10e de millimètre, tandis que la capacité magnétique est beaucoup plus grande.

Le magnétisme rémanent est plus grand dans un

faisceau de fils (n° 4) que dans un barreau solide; mais la différence d'effet, pendant et après l'aimantation, est en faveur du premier : ce fait paraît dû à la plus grande étendue de la surface soumise à l'influence inductrice. Au point de vue de l'aimantation permanente, il y a avantage à employer des noyaux solides ou des faisceaux de fils de gros diamètre. Si l'on cherche la rapidité, il y a, la plupart du temps, intérêt à employer de petits noyaux qui s'aimantent beaucoup plus vite. On peut noter encore que l'effet de l'épaisseur est sensible même quand le fer est très divisé (n° 5).

On a vu plus haut comment l'hypothèse de la polarité moléculaire permettait d'expliquer la disparition des propriétés magnétiques du fer à la chaleur rouge jaune. Une remarque à ce propos n'est pas inutile : on dit généralement que la chaleur détruit l'aimantaion, cela n'est pas tout à fait exact. Prenons une tige de fer doux; elle semble neutre, bien que le magnétisme terrestre tende à développer un pôle nord à son extrémité inférieure. Mais communiquons mécaniquement des vibrations à la tige par quelques légers coups de maillet; les molécules tournent et la polarité nord apparaît nettement. Répétons l'expérience en faisant intervenir la chaleur au lieu du choc : à la chaleur rouge, nous obtenons encore une polarité nord bien marquée. C'est donc la chaleur qui provoque ici l'aimantation.

On peut aller plus loin. Laissons les coups de maillet et la chaleur et faisons passer dans le fil un courant électrique : quel qu'en soit le sens, le même pôle nord apparaît.

Les mêmes phénomènes se présentent dans l'expérience suivante. Plaçons un petit aimant à l'extrémité d'un long barreau de fer doux à l'état neutre : le pôle

se déplace de 8 centimètres et fournit un point conséquent. Si nous faisons vibrer le barreau, le déplacement continue lentement et graduellement; au bout d'un instant, le pôle se trouve à 36 centimètres de sa position première. Le résultat est le même avec la chaleur rouge qui rend plus libres les molécules. Faisons enfin passer dans le fil un courant électrique de direction quelconque : le phénomène se répète. A ne consulter que les effets, on ne peut dire quelle a été la méthode employée. Il y a là une sorte de conductibilité qui semble indiquer que la rotation moléculaire se propage de proche en proche, pourvu qu'on donne aux molécules une liberté suffisante par un ébranlement soit mécanique, soit calorifique.

De plus, l'identité des trois résultats obtenus dans l'une et l'autre expérience, amène à supposer l'identité des trois causes et comme, dans les cas du choc et de la chaleur, c'est au mouvement imprimé aux molécules qu'on rapporte les phénomènes magnétiques que nous venons de décrire, il en doit être de même pour l'électricité.

En résumé, les nouvelles recherches de M. Hughes le confirment dans sa précédente manière de voir :

1° Le magnétisme est une propriété *inhérente aux molécules* des différents corps, y compris l'éther.

2° La cause des phénomènes électriques est *extérieure aux molécules* du corps où ils se manifestent et l'électricité, comme le son, la lumière et la chaleur, est un mode de mouvement.

G. DE LA TOUANNE.

ESSAIS PÉRIODIQUES

DES

LIGNES ÉLECTRIQUES AÉRIENNES

(Suite.)

III

EXPÉRIENCES A FAIRE DANS LES BUREAUX TÉLÉGRAPHIQUES.

69. — Les expériences qu'on peut avoir à faire dans les bureaux télégraphiques consistent à déterminer la constante de la boussole, à mesurer la force électromotrice et la résistance des piles en usage, la conductibilité des fils de ligne, la résistance des dérivations dues à l'isolement imparfait des conducteurs, les dérivations d'un fil à l'autre, enfin les courants naturels qui se manifestent souvent sur les lignes télégraphiques.

Les instruments que nous avons décrits précédemment ne permettent pas d'obtenir une précision absolue par suite du frottement de l'aiguille de la boussole sur son pivot, qui altère les résultats, et du petit nombre de résistances fixes (250, 500 et 1000 ohms) qu'on a pour établir des comparaisons ; on peut néanmoins admettre que, si les expériences sont faites avec soin, il est pos-

sible d'atteindre une approximation d'environ $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$, suffisante aux besoins de la pratique sur les lignes aériennes et pour fournir des indications utiles sur les lignes souterraines.

Chaque expérience doit toujours être faite deux fois, en faisant passer successivement le courant dans les deux sens autour de l'aiguille de la boussole, ce qui se fait au moyen de l'inverseur K (*fig.* 13). On prend pour résultat définitif la moyenne des deux déviations, dont l'écart ne doit pas dépasser un à deux degrés. S'il était plus grand, il y aurait lieu d'en rechercher la cause, qui pourrait tenir, par exemple, à un frottement anormal de l'aiguille.

70. — Nous rappellerons que, sans avoir à se préoccuper de l'origine des unités absolues et des procédés employés pour leur détermination, on peut les définir sommairement de la manière suivante :

L'ohm est la résistance d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de $1^m,06$ de hauteur; c'est approximativement celle d'un fil de fer de 4 millimètres de diamètre et de 100 mètres de longueur. Un megohm est égal à 1 million d'ohms.

Un élément Daniell a une force électromotrice égale à 1,07 volt; par conséquent 1 volt représente $\frac{1}{1,07}$ ou 0,93 de la force électromotrice d'un élément Daniell. On peut même, en général, dans la pratique, considérer le volt comme étant la force électromotrice d'un élément Daniell ordinaire.

L'ampère est l'intensité du courant produit par la force électromotrice d'un volt à travers un circuit égal à 1 ohm. On ne peut réaliser cette unité dans les bu-

reaux télégraphiques, puisque la résistance d'un élément étant de 6 à 10 ohms, le courant produit, lorsqu'on réunit directement, sans résistance extérieure, les deux pôles d'un élément, est de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{10}$ d'ampère.

Un milliampère est égal à $\frac{1}{1000}$ d'ampère.

Un élément Daniell dont le courant traverserait un circuit de 1000 ohms, dont la résistance est à peu près égale à celle d'un fil de fer de 4 millimètres de diamètre et de 100 kilomètres de longueur, produit un courant dont l'intensité est égale à $\frac{1}{1000}$ d'ampère ou à 1 milliampère, la résistance intérieure de l'élément étant négligeable par rapport à la résistance extérieure.

Détermination des constantes de la boussole.

71. — La déviation de l'aiguille d'une boussole est, ainsi qu'il a été dit, altérée par le frottement de l'aiguille sur son pivot et par la variation du magnétisme de l'aimant.

Il convient de s'assurer de temps en temps que ces deux causes d'erreur ne s'accentuent pas, en faisant osciller librement l'aiguille sur son pivot ; le nombre des oscillations complètes, aller et retour, sous la seule action du magnétisme terrestre doit être d'au moins 4 à 5 par minute ; s'il est moindre, il y a lieu de vérifier le pivot ou de réaimanter l'aimant, en le frottant régulièrement et dans le même sens sur le pôle d'un aimant permanent ou d'un électro-aimant autour duquel circule un courant.

72. — Le frottement de l'aiguille a une influence

d'autant plus nuisible sur la mesure des courants que la déviation est moindre ; d'un autre côté, lorsque la déviation dépasse 45 à 50°, les faibles variations d'intensité se mesurent difficilement ; pour ces deux raisons, il convient de s'arranger de façon que, lorsqu'on fait traverser le fil du cadre par le courant, l'aiguille se maintienne autant que possible entre 10 et 45°, ce qu'il est ordinairement facile de réaliser en prenant un nombre convenable d'éléments de pile. On doit même, pour les mesures qui demandent une certaine précision, maintenir la déviation entre 15 et 30°.

Pour la mesure des courants très faibles, tels que ceux qui sont dus aux dérivations sur les lignes, on peut admettre des déviations inférieures à 10°, mais les résultats qu'on en tire ont moins de précision.

73. — L'intensité du courant qui traverse le fil d'une boussole est donné en ampères par la formule

$$I = K \tan \alpha,$$

α étant la déviation et K la constante de l'instrument.

En milli-ampères, l'intensité est :

$$I = 1.000 K \tan \alpha,$$

ou

$$I = K' \tan \alpha.$$

La constante K représente l'intensité du courant, en ampères, qui produirait une déviation de 45°. K′ est l'intensité, en milli-ampères, du même courant.

La valeur de la constante est naturellement différente suivant qu'on emploie le circuit de 10, de 100 ou de 1000 tours. Si K est sa valeur pour le circuit de 1000 tours, K_1 pour celui de 100 tours et K_2 pour celui de 10 tours, on a à peu près :

$$K_2 = 10 K_1 = 100 K.$$

74. — Bien que les boussoles soient de construction

identique, leurs constantes varient un peu et dépendent des circonstances locales, telles que le voisinage des masses de fer qui peuvent se trouver dans les environs. Les valeurs de ces constantes sont inutiles lorsqu'on compare les intensités de deux courants qui traversent successivement une même boussole; mais quand on veut comparer les intensités accusées par deux boussoles différentes, il est nécessaire de les connaître et, par conséquent, de les mesurer, ce qui peut se faire à l'aide des bobines de résistance et de l'élément type qui accompagne la boussole.

On met cet élément en fonction, comme il a été expliqué précédemment (nº 66), en plaçant le vase poreux et le zinc dans le compartiment du milieu de la boîte, puis on fait communiquer les deux pôles de la pile avec les bornes P et T de l'inverseur (*fig.* 11).

75. — Pour avoir la constante qui correspond à 1000 tours, on introduit dans le circuit les deux bobines de 500 ohms, en attachant l'extrémité du fil conducteur *f* (*fig.* 13) à la borne F ; on enlève toutes les chevilles métalliques entre les plaques E, F et D, et on fixe le fil *g* à la borne C du galvanomètre. La résistance du circuit de 1000 tours du galvanomètre étant de 225 ohms, celle de l'élément type de 5 ohms, on a pour la résistance totale 1230 ohms. La force électromotrice de l'élément étant égale à 1,07 volt, l'intensité du courant est $\frac{1,07}{1230}$ ampère $=$ 0,00086 ampère, ce qui conduit, si α est la déviation de l'aiguille, et K la constante de la boussole, à l'équation :

$$0,0086 = K \tang \alpha,$$

ou

$$K = \frac{0,00086}{\tang \alpha}.$$

La déviation α est en général d'environ 27°, et, par suite, $\tang \alpha = 0,51$, ce qui donne :

$$K = \frac{0,00086}{0,51},$$

ou

$$K = 0,0017.$$

L'intensité du courant qui produit une déviation quelconque θ a donc pour valeur :

$$I = 0,0017 \tang \theta \text{ ampères},$$

ou

$$I = 1,7 \tang \theta \text{ milli-ampères.}$$

76. — Pour avoir la constante qui correspond au circuit de 100 tours, ou prend seulement la résistance de 250 ohms, en réunissant en surface les deux bobines de 500 ohms, ce qu'on réalise en attachant le fil f en D et en plaçant une fiche entre les bornes E et F (*fig.* 13), en même temps qu'on fixe le fil g à la borne B de la boussole.

La résistance du circuit de 100 tours étant de 20 ohms et celle de l'élément de 5 ohms, on a pour la résistance totale 275 ohms, et pour l'intensité :

$$I = \frac{1,07}{275} = 0,0039 \text{ milli-ampères.}$$

Si α est la déviation, la constante K est donnée par l'équation

$$0,0039 = K_1 \tang \alpha,$$

ou

$$K_1 = \frac{0,0039}{\tang \alpha}.$$

L'angle α est d'environ 13 degrés; $\tang \alpha = 0,23$, et, par suite :

$$K_1 = \frac{0,0039}{0,23},$$

ou

$$K_1 = 0{,}017.$$

On a donc pour l'intensité qui produit une déviation θ :

$$I = 0{,}017 \operatorname{tang} \theta \text{ ampères},$$

ou

$$I = 17 \operatorname{tang} \theta \text{ milli-ampères}.$$

77. — Quant à la constante de la boussole pour le circuit de 10 tours, on ne peut la déterminer avec l'élément type et les deux bobines de 500 ohms, même en les réunissant en surface. L'intensité du courant produit serait en effet d'environ $\frac{1{,}07}{257}$ ou 0,004 ampère, ce qui, en désignant par K_2 la constante de la boussole et par α la déviation, conduit à l'équation

$$0{,}004 = K_2 \operatorname{tang} \alpha.$$

Or, la constante K_2 est à peu près égale à 10 fois celle qui correspond au circuit de 100, soit à 0,17 ampères ; on aurait donc :

$$0{,}004 = 0{,}17 \operatorname{tang} \alpha,$$

ou

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{0{,}004}{0{,}17} = 0{,}03,$$

valeur qui correspond à un angle de moins d'un degré, qu'il serait impossible d'apprécier.

78. — Pour mesurer cette constante avec les seules bobines de résistances que comportent les appareils, il faut faire usage d'un certain nombre d'éléments de pile dont la force électromotrice et la résistance intérieure soient connues.

On peut prendre, par exemple, une pile de 10 éléments Daniell ordinaires ayant ensemble une force électromotrice de 10,7 volts et une résistance intérieure

d'environ 100 ohms. On introduit cette pile dans le circuit en même temps que la résistance de 250 ohms ; la résistance du circuit du cadre étant égale à 2, on a pour la résistance totale 352 ohms, ce qui conduit, si α est la déviation, à l'équation :

$$\frac{10,7}{352} = K_2 \operatorname{tang} \alpha.$$

D'où

$$K_2 = \frac{10,7}{352 \operatorname{tang} \alpha}.$$

Si la déviation α est de 10°, $\operatorname{tang} \alpha = 0,18$, et, par suite :

$$K_2 = \frac{10,7}{352 \times 0,18},$$

ou

$$K_2 = 0,17.$$

On a donc pour valeur d'un courant qui produit une déviation θ,

$$I = 0,17 \operatorname{tang} \theta \text{ ampères},$$

ou

$$I = 170 \text{ milli-ampères}.$$

79. — L'expérience présente toujours une certaine incertitude parce qu'on ne connaît pas exactement la résistance des éléments de la pile.

Le rapport des constantes K, K_1 et K_2 est permanent, et il suffit qu'il ait été déterminé une fois avec précision ; on a alors dans la pratique qu'à mesurer une d'entre elles, celle, par exemple, qui correspond à 100 tours, K_1, on en déduit immédiatement les deux autres. On a très sensiblement, ainsi qu'il a été dit plus haut

$$K = \frac{K_1}{10} \quad \text{et} \quad K_2 = 10\,K_1.$$

80. — On désigne souvent sous le nom de constante

d'un galvanomètre la déviation produite par un courant d'un milli-ampère. On réalise ce courant au moyen de l'élément type dont la force électromotrice est de 1,07 volt et d'un circuit ayant une résistance égale à 1070 ohms. L'intensité est, en effet, en négligeant la résistance de l'élément, $\frac{1,07}{1070} = \frac{1}{1000}$ d'ampère ou 1 milli-ampère.

81. — Il est aisé de passer de la constante ainsi définie à celle que nous avons adoptée, qui représente l'intensité du courant en ampères K, ou en milliampères K′, qui produit une déviation de 45°.

Désignons en effet par m la déviation que donne le courant d'un milli-ampère, on a, en remplaçant I par 1 et α par m, dans la formule $I = K' \operatorname{tang} \alpha$ (n° 73),

$$1 = K' \operatorname{tang} m,$$

ou

$$\operatorname{tang} m = \frac{1}{K'}.$$

L'angle m qui correspond à cette tangente est la constante telle qu'on la prend pour les expériences de télégraphie sous-marine.

Pour le cadre de 1.000 tours, on a environ $K' = 1,7$

$$\operatorname{tang} m = \frac{1}{1,7} \quad \text{et} \quad m = 31°.$$

Pour le cadre de 100 tours, la valeur de la constante m est d'environ 3°. Pour celui de 10 tours, elle serait inférieure à $\frac{1}{3}$ de degré.

On remarquera que le coefficient K′ est la réciproque de la tangente de l'angle m et que $K = \frac{\operatorname{tang} m}{1.000}$. m est d'autant plus grand et, par contre, les constantes K

et K′ sont d'autant plus faibles que l'instrument est plus sensible.

82. — Les chiffres 0,0017, 0,017 et 0,17 ampères indiqués plus haut pour K, K_1 et K_2 correspondent à un cas particulier. La valeur de ces constantes dépend de l'état magnétique du milieu où se trouve la boussole. Elle est le plus souvent un peu inférieure à ces nombres. Elle est comprise ordinairement entre 0,0014 et 0,0018 pour le circuit de 1.000 tours.

83. — On peut faire varier ces constantes en modifiant le champ magnétique au moyen d'un aimant fixe qu'on place dans le plan vertical passant par l'aimant mobile de la boussole, de façon que ce dernier reste sur le zéro lorsqu'aucun courant ne traverse le fil conducteur.

Il convient que le pôle le plus voisin soit à une distance d'au moins 20 à 30 centimètres du centre de la boussole pour que le champ magnétique reste sensiblement uniforme autour du petit aimant mobile, et que la loi des déviations ne soit pas sensiblement modifiée.

84. — Lorsqu'on veut diminuer la sensibilité de la boussole, on place le pôle sud de l'aimant directeur en regard du pôle nord de l'aimant mobile.

En plaçant au contraire le pôle nord de l'aimant mobile, en regard du pôle nord de l'aiguille, on accroît la sensibilité de la boussole, et, par suite, la valeur de la constante K se trouve diminuée. A 60 centimètres environ, la constante K_1 tombe, pour le circuit de 100 tours de 0,017 à 0,009, et un courant I, qui, sans aimant directeur, donne une déviation α, telle que $I = 0,017 \tang \alpha$, donnera, avec l'aimant directeur convenablement placé, une déviation β satisfaisant à l'équation

$I = 0{,}009 \operatorname{tong} \beta$. Le rapport des tangentes des déviations sera $\frac{\operatorname{tang} \beta}{\operatorname{tang} \alpha} = \frac{0{,}017}{0{,}09}$. Si, par exemple, l'angle α était de 10°, l'angle β sera de 19°. On aura donc pour de faibles courants une déviation à peu près double.

85. — En rapprochant davantage l'aimant directeur, en le plaçant à 50 centimètres environ de l'aimant mobile, on peut rendre la sensibilité de la boussole 3 ou 4 fois plus grande, ce qui permet de mesurer des courants trop faibles pour être observées lorsque le magnétisme terrestre agit seul sur l'aiguille du galvanomètre.

Il est nécessaire, lorsque l'aimant a été placé, de déterminer la constante de la boussole, ce qu'on peut faire, comme il a été dit plus haut, pour le cadre de 100 tours, au moyen de l'élément type, en combinant les bobines de façon à avoir la résistance la plus convenable, 500 ou 1.000 ohms. Si la déviation est de 12°, avec la résistance de 1.000 ohms, on aura

$$\frac{1{,}07}{1.025} = K_1 \operatorname{tang} 12° = K_1 \times 0{,}21,$$

et

$$K_1 = 0{,}005.$$

L'intensité d'un courant qui produit une déviation θ sera, en ampères :

$$I = 0{,}005 \operatorname{tang} \theta.$$

La constante K qui correspond au cadre de 1.000 tours est 10 fois plus faible ; elle aurait pour valeur 0,0005 et l'intensité du courant par une déviation θ_1 serait

$$I = 0{,}0005 \operatorname{tang} \theta_1,$$

Mesure de la résistance et de la force électromotrice des piles.

86. *Mesure de la résistance des piles.* — La résistance des piles peut se mesurer, lorsque le nombre des éléments est supérieur à 5 ou 6, à l'aide du circuit de 10 tours du galvanomètre, aboutissant en M et A (*fig.* 13), en comparant les intensités des courants qu'on obtient lorsqu'on interpose successivement dans le circuit les deux résistances de 250, 500 ohms que peuvent donner les bobines.

87. — Désignons par n le nombre des éléments dont se compose la pile soumise à l'expérience, dont on fait communiquer les deux pôles aux bornes P et T (*fig.* 13) de l'inverseur, ou seulement un des pôles à la borne P, si l'autre pôle est en communication avec la terre en même temps par la borne T. Soit e la force électromotrice et ρ la résistance de chaque élément, la force électromotrice totale de la pile est ne et sa résistance $n\rho$. On introduit d'abord dans le circuit une seule des bobines de 500 ohms en attachant le fil f à la borne F et en plaçant une fiche entre D et F.

Si α est la déviation de l'aiguille et K_2 la constante de la boussole, qu'il n'est pas besoin de connaître pour cette expérience, on a pour l'intensité, en négligeant la résistance du fil du cadre qui est seulement de 2 ohms,

$$I = \frac{ne}{500 + n\rho};$$

en même temps que

$$I = K_2 \tang \alpha.$$

Ce qui conduit à l'équation

$$K_2 \operatorname{tang} \alpha = \frac{ne}{500 + n\rho}.$$

On substitue la résistance de 250 ohms à celle de 500 ; si α' est la nouvelle déviation, on a

$$K_2 \operatorname{tang} \alpha' = \frac{ne}{250 + n\rho}.$$

En divisant la seconde équation par la première, on trouve

$$\frac{\operatorname{tang} \alpha'}{\operatorname{tang} \alpha} = \frac{500 + n\rho}{250 + n\rho},$$

et, par suite, la résistance $n\rho$ de la pile est

$$n\rho = \frac{500 \operatorname{tang} \alpha - 250 \operatorname{tang} \alpha'}{\operatorname{tang} \alpha' - \operatorname{tang} \alpha}.$$

En divisant le résultat par n, on obtient la résistance de chaque élément.

Supposons, par exemple, que la pile comprenne 20 éléments et que les déviations soient

$$\alpha = 12^\circ \quad \text{et} \quad \alpha' = 18^\circ,$$

on aura

$$n\rho = \frac{500 \times 0{,}213 - 250 \times 0{,}325}{0{,}325 - 0{,}213} = 225 \text{ ohms.}$$

La résistance d'un seul élément serait donc de $\frac{225}{20} = 11{,}2$ ohms.

Toutefois cette expérience peut difficilement réussir avec les boussoles dont l'aiguille repose sur un pivot, car une simple différence d'un degré dans les déviation, due à une erreur de lecture ou à l'inertie de l'aiguille modifie en sens contraire le numérateur et le dénominateur de la fraction qui donne la valeur de la

résistance de la pile $n\rho$, et change notablement les résultats. Si, par exemple, dans l'expérience précédente, on avait pour les déviations observées avec la résistance de 500 ohms, 11° ou lieu de 12°, on trouverait, en substituant la tangente de 11° à celle de 12°, pour la résistance totale de la pile de 20 éléments, le chiffre de 120 ohms, très différent de 225.

88. — Pour mesurer la résistance d'une pile composée d'un petit nombre d'éléments, il conviendrait d'employer le circuit de 100 tours de la boussole, en procédant de la même manière, mais les chances d'erreur seraient encore plus grandes, car la résistance cherchée serait très faible par rapport à celle des bobines intercalées en même temps dans le circuit.

Il existe d'autres méthodes pour mesurer la résistance des piles, telles qu'une division en deux parties égales des éléments de façon qu'en les opposant l'une à l'autre, on ait une force électromotrice nulle, ce qui permet de mesurer la résistance comme celle d'un conducteur ordinaire avec une pile spéciale. Toutefois la résistance des piles employées dans le service ne dépassant pas ordinairement 250 à 300 ohms, la boussole de tangentes à aiguille mobile sur un pivot, ne peut donner une approximation suffisante pour être utile.

89. — On peut, dans la pratique, se contenter d'admettre comme résistance des éléments employés 8 à 10 ohms pour ceux de $0^m,15$ de hauteur et 5 à 6 ohms pour ceux dont la hauteur est $0^m,10$.

Lorsque la résistance de la pile paraît beaucoup plus considérable que celle qu'on obtient en multipliant ces chiffres, 10 et 6 ohms, par le nombre des éléments dont elle se compose, ce qui peut tenir à ce que le liquide a disparu en partie pour une cause quelconque

dans un ou plusieurs d'entre eux, ou à ce qu'une solution de continuité existe dans les lames métalliques, on peut se borner à la visiter avec soin. Si le dérangement n'est pas visible, on met le galvanomètre en relation d'un côté avec un des pôles de la pile, et de l'autre avec un fil conducteur dont on promène l'extrémité sur les lames métalliques des divers éléments, jusqu'à ce qu'on reconnaisse, par le changement brusque de déviation de l'aiguille, qu'on a dépassé le point défectueux qu'on trouve alors facilement.

90. *Mesure de la force électromotrice.* — La mesure de la force électromotrice d'un seul élément se fait par comparaison avec celle de l'élément type qui a pour valeur 1,07 volt, en employant le circuit de 100 tours de la boussole (M-B), et en intercalant dans le circuit la résistance de 250 ohms.

Si α est la déviation obtenue lorsque l'élément type est placé dans le circuit entre les bornes T et P de l'inverseur (*fig.* 13) on a, en tenant compte de la résistance du fil du galvanomètre (20 ohms) et de celle de l'élément (5 ohms).

$$\frac{1,07}{275} = K_1 \operatorname{tang} \alpha,$$

Si β' est la déviation que donne l'élément soumis à l'expérience, et si sa résistance approximative est de 10 ohms, on a, en représentant par x sa force électromotrice inconnue,

$$\frac{x}{280} = K_1 \operatorname{tang} \beta;$$

en divisant la seconde équation de la première, on arrive à la valeur

$$x = 1,07 \times \frac{280}{275} \frac{\operatorname{tang} \beta}{\operatorname{tang} \alpha};$$

ou

$$x = 1,09 \frac{\text{tang}\,\beta}{\text{tang}\,\alpha} \text{ volt.}$$

Supposons, par exemple, que $\alpha = 13°$ et $\beta = 16°$, on aura pour la force électromotrice e

$$e = 1,09 \times \frac{0,28}{0,23} = 1,4 \text{ volt.}$$

91. — Lorsque la constante K_1 du galvanomètre a été préalablement déterminée, une seule expérience suffit pour mesurer la force électromotrice x. Elle se déduit de la déviation β que donne cet élément, par la formule

$$\frac{x}{280} = K_1 \text{ tang}\,\beta,$$

ou

$$x = 280 K_1 \text{ tang}\,\beta.$$

Supposons la constante K_1 égale à 0,017 ampère, et la déviation β à 16°, on aura

$$x = 280 \times 0,017 = 0,28 = 1,4.$$

La résistance de l'élément n'est pas en général connue d'une façon précise, mais elle n'a que peu d'influence sur le résultat, puisqu'elle modifie peu la résistance totale, supérieure à 270 ohms, et l'on peut admettre, comme nous l'avons dit plus haut, de 5 à 10 ohms, suivant la grandeur des éléments.

92. — On peut, par la même méthode, au moyen du circuit de 100 tours de la boussole, quand on connaît la constante K_1, mesurer la force électromotrice de piles variant de 1 à 12 éléments, en faisant usage, suivant les cas, de résistances additionnelles de 250, 500 ou 1.000 ohms, sans que la déviation de l'aiguille dépasse 30 à 40 degrés, la force électromotrice des

éléments employés dans la pratique étant ordinairement inférieure à 1,5 volt.

La résistance de 250 ohms suffit lorsque le nombre des éléments ne dépasse pas 3, celle de 500 lorsque le nombre varie de 3 à 6, et celle de 1.000 pour des piles de 6 à 12 éléments.

On a, dans le premier cas, si n est le nombre des éléments et ρ leur résistance :

$$\frac{ne}{270 + n\rho} = K_1 \operatorname{tang} \alpha,$$

ou, en nommant E la force électromotrice totale,

$$E = ne = K_1 \operatorname{tang} \alpha (270 + n\rho),$$

dans le second

$$E = ne = K_1 \operatorname{tang} \alpha (520 + n\rho),$$

et dans le troisième

$$E = ne = K_1 \operatorname{tang} \alpha (1.020 + n\rho).$$

Supposons, par exemple, que le nombre des éléments soit de 10, la déviation α de 30°, et la constante K_1 de 0,017 ampère, on aura, en appliquant la dernière formule, et en admettant 10 ohms pour la résistance de chaque élément :

$$\begin{aligned} E = 10e &= 0{,}017 \times \operatorname{tang} 30^\circ (1.020 + 100) \\ &= 0{,}017 \times 0{,}57 \times 1.120 \\ &= 11{,}20 \text{ volts.} \end{aligned}$$

La force électromotrice de chaque élément sera

$$e = \frac{E}{n} = \frac{11{,}20}{10} = 1{,}12 \text{ volt.}$$

93. — Lorsque le nombre des éléments dépasse 12, on peut diviser la pile en plusieurs parties comprenant chacune moins de 12 éléments et faire la somme des

forces électromotrices trouvées, ou faire usage du fil de la boussole qui forme seulement 10 tours et dont la constante K_2 est environ 0,17 ampère. On a, dans ce dernier cas, en prenant pour résistance additionnelle une des bobines de 500 ohms,

$$E = ne = K_2 \operatorname{tang} \alpha (500 + n\rho),$$

Pour 30 éléments, on aura, en faisant $K_2 = 0,17$ et $\rho = 10$ ohms,

$$E = 30e = 0,17 \operatorname{tang} \alpha \times 800.$$

Si l'angle $\alpha = 17°$, $\operatorname{tang} \alpha = 0,30$

$$E = 30e = 0,17 \times 0,30 \times 800 = 40,8 \text{ volts};$$

la force électromotrice d'un élément sera

$$e = \frac{40,8}{30} = 1,36 \text{ volt.}$$

Mesure des résistances fixes.

94. — Les appareils décrits précédemment sont surtout destinés à permettre de mesurer approximativement les diverses résistances qu'on a besoin de connaître dans les bureaux télégraphiques, résistances des bobines des appareils, des lignes, des dérivations, etc.

Supposons d'abord qu'on ait à mesurer la résistance de conducteurs fixes qui ne soient soumis à aucune action perturbatrice semblable à celles qui se manifestent sur les lignes électriques et qu'on ait à sa disposition une pile de 30 éléments dont on puisse faire varier à volonté le nombre des éléments.

95. — On forme un circuit comprenant le fil du galvanomètre, un certain nombre d'éléments de piles et la résistance à mesurer.

A cet effet, on place la pile en même temps que la résistance à mesurer entre les bornes P et L de l'inverseur, et l'on établit la communication entre la borne Q et la plaque F de l'appareil de résistance, en posant des chevilles de façon à ce qu'aucune des bobines ne se trouve dans le circuit, ou, mieux encore, on intercale la résistance entre les bornes F et Q, et on fait aboutir les deux pôles de la pile en P et T, ou simplement un pôle en P, si l'autre pôle est en communication avec la terre en même temps que la borne T.

Si K est la constante de la boussole, β la déviation de l'aiguille, m le nombre des éléments de la pile, e et ρ la force électromotrice et la résistance de chacun d'eux, r la résistance de fil du cadre de la boussole, on a pour déterminer la résistance inconnue x, l'équation

$$\frac{me}{x + m\rho + r} = \mathrm{K} \operatorname{tang} \beta;$$

qui donne

$$x = \frac{me}{\mathrm{K} \operatorname{tang} \beta} - m\rho - r.$$

Quand on connaît la force électromotrice e et la résistance ρ de chaque élément, ainsi que la constante K du galvanomètre, une seule expérience suffit pour avoir la résistance x.

96. — Lorsque la force électromotrice des éléments et la constante K ne sont pas connues, on fait une seconde expérience en supprimant la résistance x du circuit, en rétablissant la communication entre F et Q, par un fil n'offrant aucune résistance sensible. On introduit dans le circuit une des résistances de 250, 500 ou 1.000 ohms, et on prend un nombre d'éléments tel que la déviation de l'aiguille soit comprise entre 15° et 35°. En désignant par α la déviation et par R la résis-

tance introduite, on a :

$$\frac{ne}{R + n\rho + r} = K \operatorname{tang} \alpha.$$

Cette équation, divisée par la première des équations qui précèdent, donne

$$\frac{n(x + m\rho + r)}{m(R + n\rho + r)} = \frac{\operatorname{tang} \alpha}{\operatorname{tang} \beta},$$

ou

$$x = \frac{m \operatorname{tang} \beta}{n \operatorname{tang} \alpha} (R + n\rho + r) - m\rho - r.$$

97. — Pour la mesure des résistances supérieures à 5.000 ohms, on prend le circuit de 1.000 tours de la boussole pour lequel $r = 225$ ohms. On a, pour la résistance, en opérant, comme il a été dit plus haut (n° 95), avec un nombre m d'éléments

$$x = \frac{me}{K \operatorname{tang} \beta} - m\rho - 225.$$

La résistance de chaque élément étant inférieure à 10 ohms, on peut négliger le terme $m\rho + 225$, dont la valeur avec 30 éléments est au plus de 500 ohms, et poser simplement

$$x = \frac{me}{K \operatorname{tang} \beta}.$$

Supposons qu'avec 20 éléments Daniell, dont la force électromotrice e est 1,07 volt, on trouve une déviation de 15°, on aura, si 0.0017 est la constante de la boussole :

$$x = \frac{20 \times 1{,}07}{0{,}0017 \times \operatorname{tang} 15^\circ} = \frac{20 \times 1{,}07}{0{,}0017 \times 0{,}27},$$

ou

$$x = 46.000 \text{ ohms}.$$

Si, avec 5 éléments, la déviation est de 30°, on aura

$$x = 5.400 \text{ ohms}.$$

98. — Pour avoir une précision suffisante, il est utile, ainsi qu'il a été dit précédemment, que la déviation soit autant que possible supérieure à 10°. Dans ces conditions la plus grande résistance qu'on puisse mesurer, en employant 30 éléments, est

$$x = \frac{30 \times 1,07}{0,0017 \times \operatorname{tang} 10^\circ} = \frac{30 \times 1,07}{0,0017 \times 0,18}$$
$$= 100.00 \text{ ohms environ.}$$

Lorsque la déviations est moindre, les chances d'erreurs, dues surtout au frottement de l'aiguille, sont plus grandes. On peut cependant, lorsqu'on veut apprécier de très grandes résistances, telles que celles qui corrrespondent à l'isolement des lignes, admettre des déviations de l'aiguille de 3 ou 4 degrés, ce qui permet de mesurer avec 30 éléments des résistances allant jusqu'à 300.000 ohms.

Pour des résistances encore plus considérables on peut, au moyen d'un aimant directeur, accroître la sensibilité de la boussole (n° 83). Si la constante est 0,0005, on peut mesurer approximativement des résistances allant jusqu'à 1.500.000 ohms, ou 1,5 mégohms.

99. — Avec le circuit de 100 tours, on mesure les résistances de 500 à 10.000 ohms.

La résistance du cadre étant de 20 ohms, on a, K_1 étant la constante du galvanomètre,

$$x = \frac{me}{K_1 \operatorname{tang} \beta} - m\rho - 20.$$

Si l'on emploie des éléments Daniell de petite dimension dont la résistance soit de 10 ohms, la plus grande valeur de $m\rho + 20$ est de 320 ohms et peut être négligée lorsque la résistance est supérieure à 3.000 ohms. On a dans ce cas

$$x = \frac{me}{K_1 \operatorname{tang} \beta}.$$

On doit d'ailleurs prendre le nombre des éléments, m, de façon que la déviation soit, autant que possible, comprise entre 10° et 40°.

La valeur de K_1 est, ainsi qu'on l'a vu, égale à environ 0.017. Si la pile employée est formée d'éléments Daniell, on a $e = 1,07$.

100. — Lorsque la valeur de $\frac{me}{K_1 \operatorname{tang} \beta}$ est inférieure à 2.000 ohms, il convient, en général, de retrancher du résultat précédent $m\rho + 20$ en faisant ρ égal à 6 ou à 10 ohms, suivant la dimension des éléments employés. Si, par exemple, avec 20 éléments Daniell la déviation est de 35°, on a

$$x = \frac{20 \times 1,07}{0,017 \times 0,47} - 200 - 20 = 1.790 - 220 = 1.570 \text{ ohms}$$

101. — Pour les résistances inférieures à 5 ou 600 ohms, on doit faire usage du cadre de 10 tours, dont la résistance, égale à 2 ohms, peut être négligée. On a la formule

$$K_2 \operatorname{tang} \beta = \frac{me}{x + m\rho}.$$

On peut remarquer que la plus grande déviation que donne la boussole correspond au cas où la résistance x est nulle, on a alors

$$K_2 \operatorname{tang} \beta = \frac{e}{\rho} \quad \text{ou} \quad \operatorname{tang} \beta = \frac{e}{K_2 \rho}.$$

Si l'on suppose la constante K_2 égale à 0,17 ampère,

$$\operatorname{tang} \beta = \frac{1}{0,17} \times \frac{e}{\rho},$$

ce qui donne avec des éléments Daniell de $0^m,10$ de hauteur pour lesquels $\rho = 10$ ohms et $e = 1,07$

$$\operatorname{tang} \beta = \frac{1}{0,17} \times \frac{1,07}{10} = 0,63,$$

ou

$$\beta = 33°.$$

Avec des éléments Daniell de $0^m,25$ de hauteur

$$\text{tang}\,\beta = \frac{1}{0,17} \times \frac{1,07}{6} = 1,05$$

ou

$$\beta = 47°.$$

Ce sont les plus grandes déviations qu'on puisse obtenir avec les éléments Daniell, pour cette valeur de la constante.

102. — La résistance à mesurer x se déduit de la formule précédente qui conduit à

$$x = \frac{me}{K_2\,\text{tang}\,\beta} - m\rho.$$

On détermine comme précédemment $\frac{me}{K_2\,\text{tang}\,\beta}$, lorsqu'on connait la force électromotrice e et la constante K_2, en prenant un nombre d'éléments tels que la déviation β soit supérieure à 10°.

Si avec 30 éléments Daniell ayant chacun 10 ohms de résistance on a une déviation de 13° et si $K_2 = 0,17$

$$x = \frac{30 \times 1,07}{0,17\,\text{tang}\,13°} - 300 = \frac{30 \times 1,07}{0,17 \times 0,23} - 300$$
$$= 775 - 300 = 445 \text{ ohms}.$$

Toutefois l'expérience donne difficilement des résultats exacts en raison de l'incertitude qui existe presque toujours sur la résistance, ρ, des éléments de la pile.

Mesure des résistances des lignes électriques aériennes.

103. — Sur les lignes électriques, les expériences périodiques qu'on doit faire consistent à mesurer la

résistance opposée par le conducteur en premier lieu lorsque son extrémité est en communication directe avec la terre, et, en second lieu, lorsque cette extrémité est isolée. On appelle ordinairement ces deux expériences, mesure de la conductibilité et de l'isolement, c'est à tort, car les résultats des deux expériences dépendent l'un et l'autre des dérivations qui existent sur les lignes.

Ces mesures peuvent s'effectuer comme pour les conducteurs fixes, en faisant aboutir les deux pôles de la pile en P et T, en attachant le fil de terre en Q et le fil de la ligne en F (*fig.* 13). On enlève du circuit les bobines au moyen de chevilles qu'on place entre les plaques de l'appareil de résistance, et l'on fait mouvoir la poignée de l'inverseur de façon à envoyer le courant sur la ligne à travers le cadre de la boussole.

Le résultat de chaque expérience peut toujours s'exprimer comme précédemment en ohms pour la résistance qu'oppose le conducteur au courant.

104. — Plusieurs causes d'erreur peuvent influer sur les résultats.

Il se développe au contact du sol humide et des plaques de terre des forces électromotrices irrégulières dont la différence aux deux extrémités d'une ligne augmente ou diminue le courant produit par la pile. La force électromotrice due à cette influence est toujours inférieure à 1 volt.

En outre, le courant envoyé sur la ligne n'est pas absolument constant par suite de l'effet de polarisation des électrodes, toutefois cette polarisation est, en général, très faible, lorsque les plaques de terre ont une surface suffisamment étendue et peut être ordinairement négligée.

Les fils télégraphiques sont presque constamment parcourus par des courants, dits courants *terrestres* ou *telluriques*, dont la direction est variable et dont l'intensité est proportionnelle à la distance des plaques de terre. Pendant les aurores boréales ces courants acquièrent une énergie considérable et varient brusquement de sens et d'intensité, aussi, pendant ces perturbations, les expériences ne peuvent-elles donner de résultats utiles. Ordinairement ces courants varient lentement; ils sont produits par des forces électromotrices qui vont de 0 à 1 volt, soit dans un sens soit dans l'autre, par 100 kilomètres de longueur de ligne.

Enfin la communication des fils avec la terre offre toujours une certaine résistance dont on doit tenir compte lorsque les lignes sur lesquelles on opère sont très courtes, mais qu'on peut négliger quand la longueur dépasse 40 à 50 kilomètres.

105. — En faisant successivement deux expériences dans lesquelles le courant est envoyé sur la ligne dans des directions opposées, comme il est utile de le faire pour diminuer les chances d'erreur provenant du frottement de l'aiguille, le courant terrestre s'ajoute pendant la première au courant de la pile, tandis que dans l'autre il s'annule en partie, et, en prenant la moyenne des déviations, on élimine l'influence des forces électromotrices dues aux plaques de terre et aux courants telluriques. Il convient d'ailleurs que la pile soit toujours composée de 10 à 15 éléments ou moins, pour diminuer l'action de ces diverses causes d'erreur. L'inversion du sens du courant se fait au moyen de l'inverseur K (*fig.* 13).

106. — Pour la mesure de la résistance de la ligne, on prend le cadre de 100 tours par lequel on a, en

nommant β la déviation et m le nombre des éléments

$$K_1 \tang \beta = \frac{me}{x + n\rho + 20},$$

ou

$$x = \frac{me}{K_1 \tang \beta} - m\rho - 20.$$

La résistance $m\rho + 20$, au plus égale à 320 ohms, peut être négligée sans inconvénient si la longueur de la ligne dépasse 300 kilomètres. Il est aisé d'en tenir compte approximativement si la longueur est moindre.

Supposons, par exemple, qu'on obtienne une déviation de 25° avec 20 éléments Daniell ordinaires et que la constante K_1 soit 0,017, on aura

$$x = \frac{20 \times 1{,}07}{0{,}017 \times \tang 25^\circ} - 220;$$

ou, en remplaçant tang 25° par 0,47 et effectuant le calcul

$$x = 2.000 - 220 \text{ ohms},$$

soit environ 1.780 ohms.

Si la longueur de la ligne est de 150 kilomètres, la résistance du fil par kilomètre sera $\frac{1.780}{150} = 11{,}9$ ohms.

107. — Pour la mesure des dérivations, qu'on effectue en faisant isoler la ligne à son extrémité, on prend le circuit de 1.000 tours, et l'on a de même, si β est la déviation

$$x = \frac{me}{K \tang \beta} - m\rho - 425.$$

La résistance x est toujours considérable. Pour une ligne aérienne de 300 kilomètres de longueur, elle est, par les temps les plus défavorables, d'au moins 8 à 10,000 ohms. On peut donc négliger le terme

$m\rho + 325$, qui ne dépasse pas 600 ohms, et poser

$$x = \frac{me}{K \operatorname{tang} \beta}.$$

Si, par exemple, sur une ligne de 300 kilomètres de longueur on trouve, avec 30 éléments Daniell, une déviation β de 30 degrés, on aura, en supposant la constante K du galvanomètre égale à 0.0017 :

$$x = \frac{30 \times 1,07}{0,0017 \times \operatorname{tang} 30} = \frac{30 \times 1,07}{0,0017 \times 0,58},$$

ou

$$x = 32.500 \text{ ohms.}$$

La résistance des dérivations sera par kilomètre

$$300 \times 32\,500,$$

ou

$$9.750.000 \text{ ohms} = 9,75 \text{ mégohms.}$$

Conductibilité et isolement des fils de ligne.

108. — On ne peut procéder comme il vient d'être dit, pour avoir l'état d'une ligne électrique, que si le fil conducteur soumis à l'expérience n'a pas une grande longueur, ou si la résistance des dérivations est extrêmement considérable. S'il n'en est pas ainsi, la résistance qu'on trouve n'est pas proportionnelle à la longueur de la ligne, et celle des dérivations ne lui est pas inversement proportionnelle.

Les deux expériences qui viennent d'être indiquées et qui consistent à mesurer la résistance opposée au courant envoyé par un des postes lorsque le fil conducteur est successivement mis en communication avec la terre et isolé suffisent cependant, lorsque les dérivation sont uniformément réparties sur la ligne, ce qu'on peut admettre, en général, pour faire connaître la résis-

tance de l'unité de longueur de fil ainsi que celle des dérivations qui correspondent à cette unité.

109. — Ces deux expériences peuvent d'ailleurs être complétées par une troisième, consistant à comparer l'intensité du courant envoyé par l'un des postes à l'intensité du courant reçu par l'autre, qui est naturellement moindre en raison des dérivations.

Cette dernière expérience présente une grande importance, car ce qu'on a surtout besoin de connaître dans le service télégraphique est l'intensité du courant reçu, qui produit les signaux de l'appareil récepteur.

Pour faire l'expérience il est nécessaire que les résultats fournis par les galvanomètres situés aux deux extrémités de la ligne soient comparables, et, par conséquent, que leurs constantes soient préalablement déterminées par la méthode indiquée précédemment.

L'introduction de la boussole à l'extrémité de la ligne modifie un peu le circuit; mais comme cette résistance est très faible (20 ohms pour le le fil qui forme 100 tours), on peut ne pas en tenir compte.

110. — L'essai des lignes consiste donc à observer, au poste qui envoie le courant, la déviation α lorsque le conducteur est en relation avec la terre au second poste par l'intermédiaire du galvanomètre, la déviation β observée, en même temps, à ce dernier poste, enfin la déviation γ au poste de départ quand le conducteur est isolé à son extrémité.

On déduit de ces déviations : 1° la résistance m du fil mis à la terre à une extrémité ; 2° la résistance n du fil isolé, et 3° le rapport $\frac{I_2}{I_1}=p$ des intensités observées au poste qui reçoit et au poste qui envoie le courant, rapport qui est toujours plus petit que l'unité.

111. — Si l'on représente par a la résistance d'une longueur l du conducteur d'une ligne électrique, par b la résistance des dérivations pour cette même longueur, le produit ab est une quantité constante, indépendante de la longueur considérée ; la résistance a est en effet proportionnelle à l, tandis que celle des dérivations est en raison inverse de la même longueur. ab représente donc le produit de la résistance de l'unité de longueur du conducteur par celle des dérivations qui correspondent à cette même unité.

On démontre facilement que le produit ab est précisément égal au produit mn des résistances qu'on trouve par l'expérience, lorsqu'on fait successivement communiquer le conducteur avec la terre à son extrémité, et qu'on le fait isoler. On a donc :

$$ab = mn.$$

ab est, par exemple, le produit de la résistance kilométrique du conducteur par la résistance des dérivations qui correspondent à 1 kilomètre.

112. — En général, la conductibilité des fils des lignes télégraphiques varie peu et l'on peut considérer comme sensiblement constante la résistance a de l'unité de longueur.

Si l'on admet que cette condition soit remplie et que a, qui dépend du diamètre du fil et de la qualité du métal dont il est formé, soit connu, on a pour la résistance des dérivations qui correspondent à l'unité de longueur

$$b = \frac{mn}{a}.$$

(*) Voir *Annales télégraphiques*, numéro de novembre-décembre 1858.

Par exemple, pour le fil de fer de 4 millimètre de diamètre, on a, si l'unité est le kilomètre, $a = 10$ ohms; la résistance b qui correspond à 1 kilomètre est donc en ohms

$$b = \frac{mn}{10}.$$

Ainsi, supposons que sur une ligne on trouve 2.500 ohms pour la résistance m, lorsque le fil est à la terre à l'extrémité, et 6.400 ohms lorsqu'il est isolé, on aura pour la résistance b des dérivations par kilomètre :

$$b = \frac{2.500 \times 6.400}{10} = 1.600.000 \text{ ohms}.$$

113. — Si l'on ne connaît pas la résistance a de l'unité de longueur du conducteur, on peut la déduire, ainsi que la résistance b des dérivations, de la longueur de la ligne l et des nombres m et n que fournit l'expérience par les formules suivantes établies dans le cas où les dérivations sont uniformément réparties le long de la ligne, dont la longueur est l.

$$ab = mn.$$

$$\sqrt{\frac{a}{b}} = \frac{mn}{2l\log e}\log\frac{\sqrt{n}+\sqrt{m}}{\sqrt{n}-\sqrt{m}},$$

e étant la base des logarithmes neperiens, dont le logarithme dans le système ordinaire est 0,434.

Ces deux équations conduisent aux valeurs suivantes :

$$a = \sqrt{mn} \times \frac{\log\dfrac{\sqrt{n}+\sqrt{m}}{\sqrt{n}-\sqrt{m}}}{0{,}868\,l},$$

$$b = \sqrt{mn'} \times \frac{0{,}868\,l}{\log\dfrac{\sqrt{n}+\sqrt{m}}{\sqrt{n}-\sqrt{m}}}$$

Si, sur une ligne de 300 kilomètres de longueur, on trouve, par exemple, pour les résistances mesurées avec le galvanomètre $m = 2.500$ ohms et $n = 6.400$ ohms, on en déduira, en appliquant la formule précédente :

1° Pour la résistance kilométrique a du conducteur :

$$a = 9{,}7 \text{ ohms.}$$

2° Pour la résistance des dérivations par kilomètre :

$$b = 1.630.000 \text{ ohms.}$$

Tandis qu'en divisant la résistance 2.500 ohms et en multipliant la résistance 6.400 par la longueur de la ligne, 300 kilomètres, on trouverait pour la résistance kilométrique a du conducteur 8,3, et pour celle des dérivations $b = 1.920.000$ ohms.

Les différences seraient encore plus sensibles si la longueur de la ligne était plus grande ou les dérivations plus considérables.

114. — La relation qui existe entre l'intensité du courant transmis par un poste et celle du même courant reçu à l'extrémité de la ligne est donnée par la formule

$$\log\left(\frac{1}{p} + \sqrt{\frac{1}{p^2} - 1}\right) = 0{,}434\, l \sqrt{\frac{a}{b}}.$$

p étant le rapport des intensités du courant observées à l'extrémité de la ligne, dont la longueur est l, et au point de départ, a et b étant, comme plus haut, les résistances du conducteur et des dérivations qui correspondent à l'unité de longueur du fil.

Lorsque le rapport p est connu par l'expérience, on en déduit la valeur de $\sqrt{\frac{a}{b}}$

$$\sqrt{\frac{a}{b}} = \frac{\log\left(\frac{1}{p} + \sqrt{\frac{1}{p^2} - 1}\right)}{0{,}434\, l}.$$

qui, avec la relation

$$ab = mn,$$

permet de calculer par une seconde méthode les valeurs de a et de b.

$$a = \sqrt{mn} \times \frac{\log\left(\frac{1}{p} + \sqrt{\frac{1}{p^2} - 1}\right)}{0,434\, l}.$$

$$b = \sqrt{mn} \times \frac{0,434\, l}{\log\left(\frac{1}{p} + \sqrt{\frac{1}{p^2} - 1}\right)}.$$

115. — La comparaison des valeurs trouvées pour a et b par ces deux méthodes fournit un moyen de contrôle.

Dans le cas que nous avons supposé plus haut d'une ligne de 300 kilomètres de longueur, et pour laquelle on a $m = 2.500$ ohms et $n = 6.400$ ohms, qui nous a conduit, pour les valeurs a et b, à 8,3 et 1.920.000 ohms, on devrait avoir :

$$\sqrt{\frac{8,3}{1.920.000}} = \frac{\log\left(\frac{1}{p} + \sqrt{\frac{1}{p^2} - 1}\right)}{0,434 \times 300}.$$

On en déduit :

$$\log\left(\frac{1}{p} + \sqrt{\frac{1}{p^2} - 1}\right) = 0,27,$$

ou

$$\frac{1}{p} + \sqrt{\frac{1}{p^2} - 1} = 1,86,$$

et, par suite :

$$p = \frac{2 \times 1,86}{(1,86)^2 + 1} = 0,83.$$

Ainsi, à l'extrémité de la ligne, on ne reçoit qu'une fraction égale à 0,83 du courant envoyé par le poste de départ.

Si la ligne avait 600 kilomètres de longueur, les dérivations étant les mêmes, on aurait :

$$\log \frac{1}{p} + \sqrt{\frac{1}{p^2} - 1} = 0{,}54,$$

$$\frac{1}{p} + \sqrt{\frac{1}{p^2} - 1} = 3{,}47,$$

et

$$p = 0{,}53.$$

Le courant reçu serait seulement 0,53 du courant envoyé à l'autre poste, soit environ $\frac{1}{2}$.

Dérivations de courant d'un fil à l'autre.

116. — Les dérivations de courant d'un fil à l'autre se produisent par les isolateurs et les poteaux ou appuis. Ces dérivations, qui donnent lieu à des accroissements et diminutions irréguliers d'intensité du courant reçu par chaque poste sont souvent plus nuisibles aux transmissions télégraphiques que les dérivations normales ou pertes de courant signalées précédemment.

On peut y remédier au moyen de fils métalliques enroulés sur les poteaux entre les isolateurs et mis en communication avec la terre; mais, dans ce cas, il est nécessaire que le sol soit humide pour que sa résistance soit aussi faible que possible. Ces fils ont été installés dans plusieurs pays; ils sont surtout utiles pour les lignes situées au bord de la mer et exposées aux émanations salines.

On n'a pas adopté ce système en France, les dérivations d'un fil à l'autre étant extrêmement faibles avec les isolateurs actuellement en usage. On se borne

à séparer autant que possible sur les poteaux les fils qui desservent les stations très éloignées, en installant entre eux les conducteurs destinés aux communications entre les bureaux secondaires, ou à faire suivre des trajets différents aux conducteurs des grandes lignes.

117. — L'étude des dérivations ou mélanges d'un fil à l'autre se fait en isolant les deux conducteurs à essayer à une extrémité de la ligne, en envoyant le courant par l'un d'eux et en mettant l'autre en relation avec la terre par l'intermédiaire du galvanomètre.

De la déviation de l'aiguille et du nombre des éléments introduits on déduit la résistance de la communication entre les deux fils, et, en multipliant le résultat par la longueur de ligne commune, on a la résistance qui correspond à un kilomètre.

L'expérience se fait avec les 30 éléments de pile qu'on emploie pour la mesure des dérivations et le cadre de 1.000 tours de la boussole de tangentes, en mettant le fil par lequel on envoie le courant en relation avec la borne Q, l'autre fil avec la borne F, en supprimant toute résistance des bobines au moyen de fiches, enfin en attachant en P le fil de la pile et en T le fil de la terre (*fig.* 13).

Dans le calcul on peut négliger la résistance du fil de la ligne, celle de la pile et celle du galvanomètre.

118. — Supposons que pour une ligne de 300 kilomètres de longueur on trouve une déviation de 15° avec 30 éléments Daniell; on aura, en nommant x la résistance de la communication due aux dérivations et K la constante du galvanomètre

$$\frac{30 \times 1,07}{x} = K \text{ tang } 15^\circ,$$

ou, en admettant 0,0017 pour la valeur de K et en remplaçant tang 15° par 0,12

$$\frac{30 \times 1,07}{x} = 0,0017 \times 0,12;$$

d'où

$$x = 157.000 \text{ ohms}.$$

Par kilomètre la résistance de la communication entre les deux fils sera

$$157.000 \times 300 = 47.100.000 \text{ ohms} = 47 \text{ mégohms}.$$

119. — Lorsque les lignes sont établies dans de bonnes conditions la résistance de la communication entre deux fils de 4 millimètres de diamètre distants de 40 à 50 centimètres, ne doit pas, par les plus mauvais temps, être inférieure à 40 mégohms par kilomètre.

Dans ces conditions l'intensité du courant reçue par un des fils est augmentée ou diminuée, à l'extrémité d'une ligne de 300 kilomètres d'à peine $\frac{1}{50}$ de sa valeur, ce qui ne peut nuire aux transmissions ordinaires.

Pour les dérivations d'un fil de 5 millimètres à un autre semblable, on peut admettre dans les mêmes circonstances environ 35 mégohms.

Lorsque les fils aboutissent aux mêmes postes, les courants qui résultent des dérivations se confondent avec ceux qui proviennent de la résistance du sol.

Expériences sur les lignes souterraines.

120. — Les mesures de conductibilité et d'isolement des lignes souterraines se font, lorsqu'on veut avoir une grande précision, nécessaire pour déterminer la position d'un défaut, au moyen d'un

pont de Wheatston et d'un galvanomètre à réflexion très sensible. On peut cependant se rendre approximativement compte de leur état, lorsqu'elles ont une certaine longueur, en employant la boussole et les bobines de résistance décrites précédemment.

La résistance se mesure par la même méthode que celle des fils aériens (n° 106), en faisant usage du circuit de 100 tours.

Comme les dérivations par l'enveloppe isolante sont extrêmement faibles, on n'a pas à en tenir compte.

On prend un nombre d'éléments tel que la déviation soit comprise entre 20 et 30° : soit environ 10 pour une ligne de 100 kilomètres, 20 pour une ligne de 200, 30 pour une ligne plus longue.

La résistance x de la ligne est donnée par la formule

$$\frac{ne}{x + n\rho + 20} = K_1 \operatorname{tang} \alpha;$$

dans laquelle α est la déviation et K_1 la constante de la boussole, n, ρ et e nombre, la résistance et la force électromotrice des éléments. On en déduit

$$x = \frac{ne}{K_1 \operatorname{tang} \alpha} - n\rho - 20.$$

Si la valeur de la constante K_1 est 0.017 et si les éléments employés sont des éléments Daniell ayant chacun pour force électromotrice 1,07 volt et pour résistance 10 ohms, on a avec 10 éléments

$$x = \frac{10,7}{0,017 \operatorname{tang} \alpha} - 120,$$

Si la déviation α est de 25°, $\operatorname{tang} \alpha = 0,47$, la formule donne

$$x = 1,210 - 120 = 1.090 \text{ ohms environ.}$$

En divisant le nombre trouvé par la longueur de la ligne exprimée en kilomètre, on a la résistance du conducteur par kilomètre, qu'on peut comparer à la résistance théorique, 7 ou 10 ohms, suivant le modèle du câble (n° 46).

Si la résistance trouvée est supérieure, on en conclut qu'un défaut de conductibilité existe sur la ligne, et on peut le circonscrire en fractionnant la ligne, si la chose est possible, ou en employant des instruments de mesure plus précis.

121. — En ce qui concerne les dérivations dues à la conductibilité de l'enveloppe isolante, on peut admettre pour les lignes souterraines que la résistance de l'enveloppe par kilomètre doit offrir une résistance d'environ 300 mégohms, ou 300.000.000 ohms à la température ordinaire de 14°; c'est le chiffre imposé par les cahiers des charges.

Cette résistance se mesure au moyen du cadre de 1.000 tours, en employant 30 éléments de pile, nombre qu'il convient de ne pas dépasser dans l'intérêt de la conservation des lignes souterraines.

Si l'on emploie des éléments Daniell ordinaires, si θ est la déviation et K la constante du galvanomètre, la résistance x des dérivations est donnée par la formule

$$\frac{30 \times 1,07}{x} = \mathrm{K} \operatorname{tang} \theta,$$

ou

$$x = \frac{32,1}{\mathrm{K} \operatorname{tang} \theta}.$$

La résistance des dérivations par kilomètre est, si l est la longueur de la ligne.

$$y = \frac{32,1\, l}{\mathrm{K} \operatorname{tang} \theta}.$$

122. — La résistance y des dérivations par kilomètre devant être supérieure à 300.000.000 ohms, on doit avoir

$$\frac{32,1\,l}{\mathrm{K}\,\mathrm{tang}\,\theta} > 300.000.000 \text{ ohms},$$

ou

$$\mathrm{tang}\,\theta < \frac{32,1\,l}{\mathrm{K} \times 300.000.000}.$$

Pour une ligne de 100 kilomètres de longueur, si $\mathrm{K} = 0.0017$, on devrait avoir

$$\mathrm{tang}\,\theta < 0,006 :$$

θ devrait donc être inférieur 1/3 de degré.

Pour une ligne de 200 kilomètres, la déviation θ devrait être inférieur à 2/3 de degré; pour une ligne de 300 kilomètres, à 1 degré.

Dans ces conditions, l'expérience ne peut donner qu'un résultat négatif; mais on peut, ainsi qu'on l'a vu, rendre la sensibilité de la boussole 3 ou 4 fois plus grande au moyen d'un aimant directeur.

Pour des fils souterrains de 100, 200 et 300 kilomètres, la déviation maximum est alors 1°, 2° et 3°, suffisante pour s'assurer qu'elle n'est pas altérée par des circonstances accidentelles.

E. E. BLAVIER.

CHRONIQUE.

Sur la valeur actuelle des éléments magnétiques du parc Saint-Maur.

Note de M. TH. MOUREAUX.

Le bureau central météorologique a fait construire à l'observatoire du Parc Saint-Maur, en 1882, un pavillon destiné spécialement aux observations magnétiques. Ce pavillon, situé au milieu d'un terrain boisé d'une contenance de trois hectares, est élevé sur des caves voûtées où sont installées deux séries d'appareils de variations pour la déclinaison et pour les deux composantes de la force terrestre. Dans l'une des caves, les appareils sont disposés pour l'observation directe; on y fait des lectures toutes les trois heures. L'autre contient un enregistreur magnétique construit sur les indications de M. Mascart, et dans lequel les variations des trois éléments magnétiques s'inscrivent simultanément sur la même feuille de papier photographique. D'après les dispositions adoptées, 1 millimètre d'ordonnée de la courbe vaut pour le déclinomètre 1',39, pour le bifilaire 0,00048H et pour la balance magnétique 0,00017Z. Ces valeurs sont vérifiées régulièrement une fois par mois.

Le dépouillement des courbes est fait pour chaque heure du jour; les tableaux qui en résultent permettent de suivre la variation horaire des éléments magnétiques. Les relevés des courbes sont ensuite transformés en valeurs absolues, par comparaison avec les observations directes faites de temps en temps sur un pilier construit en moellons et ciment, à quelque distance du pavillon. Afin de s'assurer que le pavillon et le pilier sont à l'abri de perturbations locales, on a répété les mêmes observations en différents points du jardin ; les appa-

reils ont même été transportés au nord à 1 kilomètre, et au sud à 2 kilomètres du pilier, sur la ligne d'égale déclinaison qui passe par l'observatoire du Parc, et l'on a pu constater la concordance parfaite des résultats obtenus dans ces différentes conditions.

L'appareil qui sert à déterminer la déclinaison en valeur absolue est un théodolite-boussole de MM. Brunner. Les pointés des barreaux sont rapportés à une double visée sur le paratonnerre de la mairie de Nogent-sur-Marne, distante de 3.700 mètres, et dont l'azimut, vérifié un grand nombre de fois et par différentes méthodes, est connu très exactement.

Le théodolite-boussole est muni de pièces accessoires qui permettent de déterminer le rapport de la composante horizontale H au moment magnétique M du barreau, au moyen des déviations produites par ce même barreau sur un autre aimant; le produit HM est d'ailleurs donné par la durée des oscillations. Au lieu d'observer les déviations par le barreau à deux distances différentes, on peut se borner aux lectures relatives à la plus courte distance, si le terme de correction dont la recherche constitue la principale difficulté dans la méthode de Gauss a été déterminé préalablement par chaque barreau, comme l'a indiqué M. Mascart; toutes les observations sont fréquemment répétées par une seconde distance, à titre de contrôle.

L'inclinaison est obtenue à l'aide d'une petite boussole construite également par MM. Brunner. Les cercles ont environ $0^{m},08$ de diamètre, et la longueur de l'aiguille est seulement de 65 millimètres. Le cercle vertical, mobile autour de son centre, entraîne dans son mouvement deux miroirs concaves disposés vers les extrémités d'un de ses diamètres. Pour faire un pointé, on amène ces miroirs derrière les extrémités de l'aiguille, de façon qu'en regardant au microscope on voit en même temps, sur le prolongement l'une de l'autre, l'aiguille et son image réfléchie. Une détermination complète comporte nécessairement toutes les observations destinées à annuler les erreurs instrumentales. Cette boussole est si parfaite que les lectures avant et après les divers retournements de l'appareil ou de l'aiguille et l'inversion des pôles ne diffèrent jamais de plus de quelques années.

Les coordonnées géographiques de l'observatoire du Parc Saint-Maur sont :

Longitude. . . . . 0°9'15" E. Latitude. . . . . 48°48'34"

Les valeurs des éléments magnétiques au 1er janvier 1885, déduites de la moyenne des observations horaires du 31 décembre 1884 et du 1er 1885 janvier, qui n'ont pas eu de perturbation, sont les suivantes :

Déclinaison.	16° 10',2
Inclinaison.	65° 16',8
Composition horizontale.	0,19440
Composante verticale.	0,42225
Force totale.	0,46485

(*Comptes rendus*.)

Sur des éléments normaux pour des mesures de forces électromotrices.

Par M. W. Von Beetz.

(Extrait du *Philosophical Magazine*, 5e série, tome XVIII, 1884.)

L'auteur fait la critique des éléments actuellement en usage pour les mesures de forces électromotrices. Les éléments Daniell les mieux construits ne restent constants que pendant un temps relativement restreint. On ne peut guère compter sur leur constance que pour la durée d'une série d'expériences : il faut les remonter trop souvent. L'élément Latimer-Clark présente deux inconvénients très graves : sa force électromotrice varie beaucoup avec la température, défaut qui n'existe pas dans le Daniell ; en outre, elle baisse d'une manière très considérable à la moindre fermeture de l'élément sur lui-même, quelque petit que soit le temps de fermeture. L'auteur a constaté une perte de 2 p. 100 quand l'élément était resté fermé sur lui-même pendant une demi-minute.

D'après l'auteur lui-même, l'élément Latimer-Clark peut être débarrassé de ses défauts : il suffit de lui donner une résistance suffisamment grande, afin que le courant produit

soit toujours très faible. A cet effet, on remplit un tube deux fois recourbé à angle droit (de $0^{m},01$ de diamètre et de $0^{m},75$ de longueur de branches) de la pâte composée de sulfate mercureux et de sulfate de zinc. On fait bouillir la pâte jusqu'à ce que, après refroidissement, elle se prenne en une masse solide très dure. Au bout de l'une des branches, on établit le pôle zinc, à celui de l'autre le pôle mercure, et l'on bouche les deux branches avec de la paraffine. Cet élément, qu'on peut, pour plus de commodité, fixer à la table d'expérience, possède une résistance intérieure de 15.700 ohms, et sa force électromotrice est un peu plus faible que ne l'indique Latimer-Clark. Si l'on admet pour la force électromotrice de 1 Daniell normal (avec l'eau acidulée) $1^{volt},195$ celle de l'élément à mercure est $1^{volt},449$ (au lieu de 1.457). Si l'on ferme l'élément sur lui-même, sa force électromotrice baisse, et le tableau suivant peut donner une idée de la variation de la force électromotrice avec la durée de la fermeture.

Durée de la fermeture.	Force électromotrice en volts.
5 minutes	1,440
1 heure	1,439
4 heures	1,439
6 heures	1,437
12 heures	1,434
48 heures	1,408

On voit que la polarisation de l'élément était très faible. Le courant qui le traversait n'était, du reste, que de $0^{amp},0000091$. Après 48 heures de fermeture, qu'on peut facilement éviter, la force électromotrice n'avait baissé que de 2 p. 100. L'élément, une fois affaibli, revient lentement à sa force électromotrice primitive. Après 24 heures, elle était de $1^{volt},430$. L'auteur applique le même principe qui consiste à remplacer le conducteur liquide par un électrolyte solide, à l'élément Daniell. A cet effet, on mélange du plâtre blanc de Paris avec une dissolution concentrée de sulfate de cuivre et l'on remplit l'une des branches d'un tube en U; lorsque la pâte a fait prise, on remplit l'autre branche avec un mélange analogue d'albâtre et de sulfate de zinc. De cette manière, les deux pôles se touchent directement. Avant la solidification, on plante un fil de cuivre dans la pâte cuivrique et un fil de zinc

dans la pâte à sulfate de zinc. On dégage, après la solidification des pâtes, les deux extrémités du tube et on les bouche avec de la paraffine. On a comparé trois de ces éléments avec 1 Daniell fait avec des dissolutions concentrées de sulfates de cuivre et de zinc, pris pour unité, et des mesures effectuées à différents jours ont donné les nombres suivants :

	I	II	III
	volt	volt	volt
	0,996	0,993	1,000
	0,998	0,996	0,996
	1,000	0,999	0,993
	»	0,999	»
Moyennes	0,998	0,996	0,997

La diminution de la force électromotrice avec la température est de 0,015 p. 100 par degré entre 1° et 21°. Ce coefficient augmente avec la température. Pour l'élément III, ce coefficient était de 0,061 entre 2° et 55°, tandis que pour l'élément Latimer-Clark ce coefficient est 0,08, d'après MM. Helmholtz et Kittler. Dans ces limites restreintes de température, où se font les mesures de forces électromotrices, l'influence de la température est donc négligeable. L'auteur a encore recherché l'influence de la fermeture des éléments sur eux-mêmes. Une fermeture d'une demi-minute de durée n'a produit aucun effet sur les éléments I et II; l'élément II est tombé de 1,000 à 0,997; mais il revient très vite à sa valeur primitive. Les variations produites par des fermetures de plus longues durées sont indiquées dans le tableau suivant :

	I		II		III
			1,000		1,000
Valeur primitive	0,998	Après 1 heure	0,994	Après 15 minut.	0,996
Après 10 minut.	0,991	15 minut.	0,988	50 heures	0,994
35 minut.	0,998	20 minut.	0,988	17 heures	0,989
14 h. 30 m.	0,975	20 minut.	0,993	5 m. d'ouv.	0,994
»	0,996	15 h. 30 m.	0,987		
15 heures	0,986	24 minut.	0,986		
5 m. d'ouv.	0,994	30 minut.	0,987		
		5 m. d'ouv.	0,994		

Tous les éléments sont revenus à leur force électromotrice primitive après 15 minutes d'ouverture. La valeur moyenne

de la force électromotrice de 1 Daniell sec est de $1^{volt},059$, si l'on prend $1^{volt},059$ comme valeur de la force électromotrice de 1 Daniell à dissolutions concentrées de sulfates de cuivre et de zinc. La résistance intérieure de l'élément II était $14^{ohms},600$ et celle de l'élément III $13^{ohms},500$. L'intensité du courant dans l'élément II (fermé sur lui-même) était de $0^{amp},000072$, et dans l'élément III $0^{amp},000078$. Dans le premier, il se déposait ainsi $0^{mgr},08$ de cuivre, dans le second, $0^{mgr},09$.

Ces éléments secs se recommandent encore pour la charge des électromètres à quadrants. Comme ici la résistance est indifférente, on peut la faire très petite. L'auteur a disposé une pile de 144 éléments, formée de douze séries de 12 éléments. Chaque élément est formé d'un tube de verre de 5 millimètres de diamètre, rempli par moitié de la pâte cuivrique et de la pâte de sulfate da zinc, et bouché à la paraffine. La pile donnait aux deux pôles une différence de potentiel de 152 volts. Il aurait fallu, pour obtenir la même force électromotrice, une pile à eau de 156 éléments frais ou de 200 éléments affaiblis. Toute la pile occupe une superficie de 16^{cq}.

(*Journal de Physique*.) KROUCHKOLL.

Communications électriques entre les stations de chemins de fer et les trains en marche.

Les différents procédés, proposés jusqu'à ce jour pour établir les communications entre les gares et les trains, reposent presque tous sur l'emploi d'un balai métallique porté par la locomotive et frottant sur un conducteur placé le long de la voie. Le principe même de ce système le rend susceptible de dérangements fréquents et son fonctionnement n'est aucunement certain. L'invention de M. Phelps supprime cet inconvénient.

Un fil de cuivre parfaitement isolé est établi sur la ligne, près de terre et entre deux rails; il aboutit à chaque station extrême à un poste télégraphique. De son côté, le wagon porte

une série de bobines voisines de ce fil et perpendiculaires à sa direction; elles sont formées de fil de cuivre enroulé sur de forts noyaux en fer et les extrémités de ce fil arrivent à un autre poste télégraphique placé sur la voiture.

Il y a donc deux circuits électriques complètement différents sur le wagon et le long de la voie; mais grâce à la proximité des bobines et du conducteur de la ligne, ils sont disposés de telle sorte qu'ils peuvent agir l'un sur l'autre par induction. Les signaux produits sur l'un d'eux se transmettent sur l'autre où on les reçoit avec un appareil Morse.

Tel est le système de M. Phelps, qui vient d'être expérimenté sur la ligne du New-York, New Haven and Hariford Railroad. Les essais faits entre deux stations éloignées de 25 kilomètres, ont donné les meilleurs résultats.

En outre des avantages que ce système présente au point de vue de la sécurité pour l'exploitation des chemins de fer, il peut rendre des services aux voyageurs en leur permettant d'envoyer à tout moment leurs dépèches sans avoir à attendre l'arrivée à une station. Cette facilité est surtout très utile sur les trains de grande vitesse dont les arrêts sont peu nombreux et quelquefois fort courts.

(*Bulletin international des téléphones.*)

Le nouveau compteur d'électricité du docteur H. Aron.

Le Dr H. Aron propose une horloge ordinaire dont le pendule se termine par un aimant. Une disposition spéciale permet de conserver l'isochronisme des oscillations, bien que le pendule se termine par un aimant oscillant au-dessus d'une bobine traversée par le courant.

Quand il n'y a pas de courant, en appelant M le moment d'inertie du pendule autour de l'axe de rotation, P le poids de ce dernier et L la distance de son centre de gravité à cet axe, la durée d'une oscillation T et le nombre N de ces dernières dans un temps t sont respectivement

$$T = \pi \sqrt{\frac{M}{PL}} \quad \text{et} \quad N = \frac{t}{\pi} \sqrt{\frac{PL}{M}}.$$

Mais si le courant agit, en désignant par H le moment magnétique correspondant à l'intensité I et par a le coefficient inhérent à l'appareil, ces formules deviennent

$$T' = \pi \sqrt{\frac{M}{PL + aHI}} \quad \text{et} \quad N = \frac{t}{\pi} \sqrt{\frac{PL + aHI}{M}},$$

cette dernière peut s'écrire

$$N = \frac{t}{\pi} \sqrt{\frac{PL}{M}} \left(1 + \frac{aHI}{PL}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{ou} \quad N = n\left(1 + \frac{I}{C}\right)^{\frac{1}{2}},$$

en faisant $C = \frac{PL}{aH}$.

Si l'effet de la pesanteur est grand relativement à celui du magnétisme, $\frac{I}{C}$ est plus petit que l'unité, et l'on peut développer cette expression comme suit :

$$N = n\left(1 + \frac{I}{2C} - \frac{I^2}{8C} + \dots\right) = n\left(1 + \frac{I}{2C}\right) \text{ approximativement,}$$

d'où

$$nI = 2C(N - n).$$

Pour que nI représente le nombre Q de coulombs, il faut que I soit exprimé en une unité plus petite ou plus grande que l'ampère, suivant que T est plus grand ou plus petit qu'une seconde, mais en tout cas, le nombre de colombs débités par le conducteur est proportionnel à la différence des indications de l'horloge normale et de l'horloge magnétique : approximativement bien entendu, puisque nous avons négligé des termes d'une certaine importance, mais l'erreur est d'autant moins sensible qu'on a choisi C plus grand, c'est-à-dire que la variation de la marche normale du pendule est plus faible.

Dans un de ces appareils, le pendule normal faisait 80 oscillations par minute et les variations ne comportaient au plus que 240 oscillations par heure; le retard était donc de trois minutes par heure.

La plus grande difficulté consistait à trouver une disposi-

tion qui compensât l'erreur commise en négligeant le terme du second degré, et le Dr H. Aron l'aurait résolue avec assez de bonheur pour que l'appareil pût même se prêter à des recherches de laboratoire. Il est même parvenu à construire sur le même principe un compteur de Joules, en remplaçant l'aimant par une bobine à fil fin dont les extrémités sont en connexion avec les deux conducteurs. Le retard est alors proportionnel à chaque instant au produit EI.

(*L'Électricien.*) N. T.

Nécrologie.

JULES DUCOTÉ.

Directeur des postes et télégraphes.

Nous avons eu la douleur de perdre notre camarade Jules Ducoté, enlevé subitement, dans la nuit du 22 au 23 janvier, à l'affection de ses nombreux amis.

Sorti de l'École polytechnique en 1851, il entra dans l'administration des lignes télégraphiques au moment où la télégraphie électrique commençait à se développer. En qualité de sous-inspecteur, il prit part à la construction de diverses lignes aériennes dans le Nord et dans l'Ouest. En 1854, il fut nommé inspecteur à Rouen, et, en 1861, chargé du département de l'Eure, où il construisit un réseau cantonal presque complet, qui fut remarqué et même signalé dans le *Recueil administratif*. Plus tard, il fut appelé successivement à Châteauroux, à Amiens, à Arras, à Boulogne-sur-Mer, et, dans toutes ces résidences, il sut se concilier les sympathies générales et l'estime de tous.

En 1871, il fut nommé, à Paris, inspecteur de la région Ouest, puis de la Seine, hors Paris, et, en 1872, il fut chargé du service même de Paris. C'est à lui que l'on doit la plupart des modifications heureuses qui furent apportées à ce service dans cette époque de réorganisation. Nommé chevalier de la Légion d'honneur en 1874, il fut, en 1875, l'un des délégués

français à la conférence internationale de Saint-Pétersbourg.

En 1881, la Direction des postes et télégraphes de la Seine, hors Paris, lui fut confiée. Là, comme dans ses fonctions précédentes, il montra les qualités maîtresses qui l'avaient toujours distingué : le tact, la cordialité et une bienveillante fermeté.

Ducoté était un esprit fin et cultivé, un excellent camarade, un chef plein de sollicitude pour ses subordonnés, et un homme du monde dans la meilleure acception du mot.

Ce cher ami n'est plus! Monsieur le ministre des postes et des télégraphes a bien voulu assister à la cérémonie funèbre. Les directeurs, chefs et sous-chefs de bureau du ministère, les employés de tout ordre du service de Paris, sont accourus en foule pour lui donner un dernier témoignage des bons souvenirs qu'il a laissés parmi eux.

BARON.

(*Annales télégraphiques.*)

A. L. TERNANT.

Directeur de l'agence de l'Eastern telegraphe Company.

Nous avons le regret d'apprendre la mort de M. Ternant, directeur de l'agence de la Eastern telegraph Company à Marseille bien connu par ses travaux en télégraphie. Il a été un des premiers à étudier les lois de la propagation du courant électrique dans les câbles sous-marins. Collaborateur de plusieurs journaux scientifiques, il a publié des traités de télégraphie appréciés par les électriciens. La mort l'a enlevé au moment où il venait de terminer le nouvel et très intéressant ouvrage sur les télégraphes, dont il a été question dans le dernier numéro des *Annales*.

TABLE DES MATIÈRES.

TOME XIe. — ANNÉE 1884.

Numéro de Janvier-Février.

Numéro de Mars-Avril.

Numéro de Mai-Juin.

Numéro de Juillet-Août.

Numéro de Novembre-Décembre.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE
DES MATIÈRES.

TOME XIe. — ANNÉE 1884.

A

B

C

D

E

F

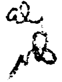
G

H

I

FIN DES TABLES.

Le Gérant : DUNOD. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.






Digitized by Google



